

PRIMER INFORME DE CALIDAD

“NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA
PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL
LAGO VILLARRICA”

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE



Enero de 2016

Contenido

1. RESUMEN.....	4
2. INTRODUCCIÓN	5
2.1 Áreas de vigilancia red de control y red de observación	5
3. ÁREA DE VIGILANCIA PELAGIAL (CENTRO).....	7
3.1 CARACTERÍSTICAS ÁREA DE VIGILANCIA PELAGIAL (CENTRO)	7
3.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE TROFÍA CARLSON.....	8
3.3 PARÁMETROS DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA	10
3.4 PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	10
3.5 RESULTADOS DE BIOINDICADORES ÁREA PELAGIAL (CENTRO).	12
4. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL PUCÓN	18
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA LITORAL PUCÓN.....	18
4.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE TROFÍA CARLSON.....	19
4.3 PARÁMETROS DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA.....	20
4.4 PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	22
4.5 RESULTADOS DE BIOINDICADORES ÁREA LIT-PUCÓN.	22
5. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL NORTE.....	29
5.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA LITORAL NORTE	29
5.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE TROFÍA CARLSON.....	30
5.3 PARÁMETROS DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA.....	32
5.4 PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	33
5.5 RESULTADOS DE BIOINDICADORES ÁREA LIT-NORTE	35
6. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL VILLARRICA.....	43
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA LITORAL VILLARRICA.	43
6.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE TROFÍA CARLSON.....	44
6.3 PARÁMETROS DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA.....	46
6.4 PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	47
6.5 RESULTADOS DE BIOINDICADORES ÁREA LIT-VILLARRICA.	49
7. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL SUR	55
7.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA LITORAL SUR.	55
7.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE TROFÍA CARLSON.....	56

7.3	PARÁMETROS DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA.....	57
7.4	PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	58
7.5	RESULTADOS DE BIOINDICADORES ÁREA LIT-SUR	59
8.	ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL POZA (LIT-POZA)	64
8.1	CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA LITORAL POZA.....	64
8.2	PARÁMETROS FUNDAMENTALES Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE TROFÍA CARLSON.....	65
8.3	PARÁMETROS DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA.....	66
8.4	PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	68
8.5	RESULTADOS DE BIOINDICADORES ÁREA LIT-POZA.....	70
9.	RESULTADOS ÁREAS DE VIGILANCIA CORRESPONDIENTES A LA RED DE OBSERVACIÓN...75	
9.1	ÁREA DE VIGILANCIA PELAGIAL (VILLARRICA).....	75
9.1.1	PARÁMETROS FUNDAMENTALES	76
9.1.2	PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	76
9.1.3	RESULTADOS DE BIOINDICADORES ÁREA PEL-VILLARRICA.	78
9.2	ÁREA DE VIGILANCIA RIO PUCÓN EN PASARELA QUELHUE.	82
9.2.1	PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	84
9.3	ÁREA DE VIGILANCIA RÍO TOLTÉN EN VILLARRICA.	84
9.3.1	PARÁMETROS DE CONDICIÓN NATURAL.	85
10.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	86
10.1	NIVELES DE TROFÍA EN ÁREAS DE VIGILANCIA.	86
10.2	ANÁLISIS DE BIOINDICADORES	88
10.3	RED DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y RED DE INVESTIGACIÓN.	88
11.	REFERENCIAS	89
12.	ANEXOS.....	90

1. RESUMEN

El DS N°19/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, publicado en el Diario Oficial con fecha 16 de octubre de 2013, establece el punto de partida del monitoreo oficial de la calidad de las aguas del lago Villarrica. El monitoreo en el marco de las normas, se efectúa a través de un Programa de Medición y Cumplimiento Ambiental (PMCCA), el cual fué elaborado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), en coordinación con el Ministerio del Medio Ambiente, la Dirección General de Aguas y la Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR).

De acuerdo a lo establecido en el DS N°19/2013, transcurridos los dos primeros años desde su implementación, deberá ser emitido un informe de calidad que de cuenta de los resultados del monitoreo y del estado del cumplimiento de los análisis realizados. El presente informe de calidad, da cuenta de la totalidad de los parámetros considerados en el PMCCA (tanto la red de control como de observación) para 4 campañas de monitoreo comprendidas entre el período de octubre de 2013 a enero de 2015 realizados en el marco de seguimiento de los parámetros definidos en cada una de las áreas de vigilancia.

El análisis del cumplimiento de los parámetros fundamentales, correspondientes a la red de control establecidos en la normativa, evidenció la superación para los valores máximos para el parámetro Clorofila "a" en la totalidad de las áreas de vigilancia monitoreadas de acuerdo al PMCCA. Asimismo se evidenció la superación de la normativa de acuerdo al promedio bi anual para este parámetro para la totalidad de las áreas de vigilancia, a excepción del área Litoral Sur, la cual se mantuvo en un nivel de latencia. Junto a lo anterior, el parámetro Transparencia, registró una superación de la normativa al superar el valor de promedio anual en el área de vigilancia Pelagial (centro del lago), encontrándose los valores en niveles de latencia para las demás áreas de vigilancia medidas en la norma.

Los resultados de bioindicadores como *Diplodon chilensis*, mostraron densidades que caracterizan una calidad del agua en nivel malo a regular en las dos áreas de vigilancia monitoreadas en el período de análisis. Por su parte, el análisis de macrófitos acuáticos realizado, mostró que al menos 8 de los 10 puntos muestreados se encuentran con niveles de trofía media, lo cual da cuenta de especies que se encuentran adaptadas a niveles medios de nitrógeno en las áreas litorales del Lago. El Índice de Estado Trófico de Carlson medido para el parámetro Clorofila "a", mostró valores en rangos de eutrofía para la campaña estival de 2015, mientras que las campañas desde 2013 a 2014 mostraron valores en un rango de mesotrofía. Los datos de fitoplancton de la campaña estival del año 2015, coinciden con las mayores concentraciones de Clorofila "a" registradas en este mismo período, las cuales fueron reportadas y analizadas en el informe de fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente, en el cual se informó un valor promedio de la columna de agua de 8,2 µg/l para el área pelagial y valores superiores a los 13 µg/l como máximos registrados de la columna de agua en las áreas litorales.

2. INTRODUCCIÓN

El DS N°19/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, publicado en el Diario Oficial con fecha 16 de octubre de 2013, que aprueba las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del lago Villarrica (NSCA del lago Villarrica), establece en su Título IV, Art. N°12, que el control de estas normas, deberá efectuarse de acuerdo a un Programa de Vigilancia, el cual será elaborado por la Superintendencia del Medio Ambiente, en coordinación con la Dirección General de Aguas y la Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR). En este contexto, con fecha 21 de julio de 2016, la Superintendencia del Medio Ambiente, mediante la Resolución Exenta N°671 dictó el programa de medición y control de la calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del lago Villarrica, en adelante (PMCCA), el cual se adjunta en ANEXO 1 de este informe.

2.1 Áreas de vigilancia red de control y red de observación

El PMCCA está constituido por dos redes de medición: la **Red oficial o Red de control**, que permite evaluar el grado de cumplimiento de las normas, de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 19/2013 (MMA) y; la **Red de observación** (Red no oficial), que permite diagnosticar (evaluar) otras condiciones de la cuenca necesarias para la gestión de la calidad del agua, en particular para un nuevo proceso de revisión de las normas. En la Red de control se han establecido 6 áreas de vigilancia denominadas: **1) Litoral La Poza; 2) Litoral Pucón; 3) Litoral Norte; 4) Litoral Villarrica; 5) Litoral Sur; 6) Área Pelagial**, en las cuales se monitorea la calidad de las aguas en tramos definidos en el lago, de acuerdo a sus características homogéneas (Ver Figura 1).

Los parámetros controlados en la Red Oficial de Control son los establecidos en el Art. 5, Tabla N°2 del DS N°19/2013, y corresponden a: 1) Transparencia (Disco Secchi); 2) Fósforo Disuelto (mg/L); 3) Fósforo Total (mg/L); 4) Saturación de Oxígeno (%); 5) Nitrógeno Disuelto (mg/L); 6) Nitrógeno Total (mg/L) y; 7) Clorofila "a" (µg/L).

Por su parte, el análisis de la red de observación, consideran aquellos parámetros establecidos en el PMCCA, los cuales han sido subdivididos en 3 categorías, de acuerdo a criterios establecidos en la guía técnica para elaboración e implementación de programas de vigilancia de normas ambientales, elaborada por el MMA:

1) Intervención antrópica, que representan aquellos indicadores de la contaminación provocada por el hombre, como los hidrocarburos totales, DBO₅, DQO, Sílice reactiva y parámetros monitoreados en sedimentos como los Hidrocarburos totales (HT), materia orgánica y carbono orgánico total (MOT y COT), Nitrógeno Total Kjeldahl, fósforo total, metales pesados y metaloides (Cd, Hg, Pb, Cu, As).

2) Condición natural, considera aquellos parámetros libres de la actividad humana directa, así como asociaciones entre las características geoquímicas y/o mineralógicas del sustrato y la condición física química del agua. Se incluyen en esta categoría la Conductividad eléctrica, pH,

turbidez y parámetros bioindicadores de la calidad del agua como el fitoplacton, macrófitos acuáticos y *Diplodon chilensis*.

2) Parámetros de investigación, se consideran en esta categoría monitoreos que permitan reflejar el estado ecológico de los ecosistemas, vale decir evaluar la estructura y funcionamiento del cuerpo lacustre, en este caso Las fracciones solubles de nitrógeno, que pueden estar presentes en la columna de agua y se encuentran vinculadas a procesos de eutroficación por fijación de nitrógeno a biomasa (nitrato) o a fenómenos de agotamiento de oxígeno (nitritos). Se considera en esta categoría el Nitrato ($N-NO_3$), Nitrito ($N-NO_2$) y Amonio ($N-NH_4$).

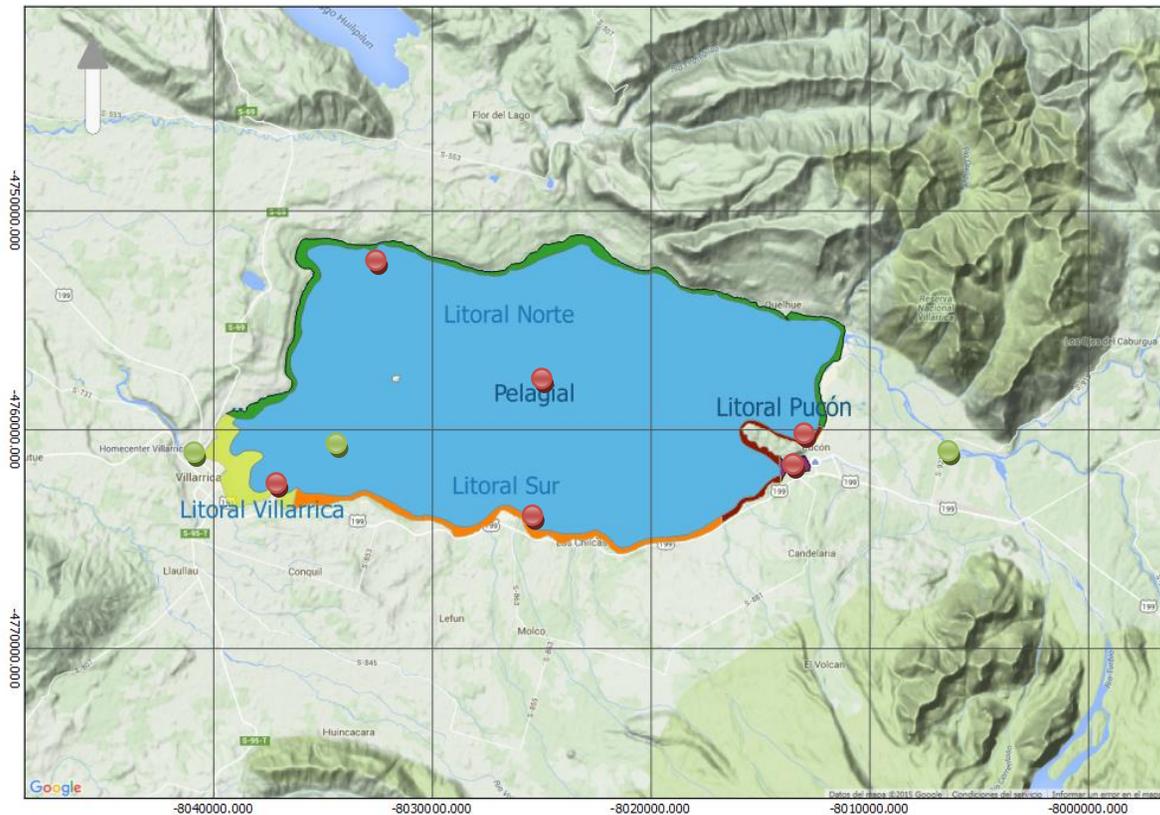


Figura 1. Ubicación de puntos de monitoreo Red Oficial (puntos en rojo) y puntos de monitoreo de la Red de Observación (puntos en color verde). Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis de la red de control del DS N°19/2013, en el período comprendido entre noviembre de 2013 hasta enero del año 2015, fueron analizados en el Informe Técnico de Cumplimiento de las Normas de Calidad del Agua del lago Villarrica, elaborado por la Superintendencia del Medio Ambiente, el cual se encuentra publicado en el expediente DFZ-2015-6193-IX-NC-EI del SNIFA. De acuerdo a lo señalado en dicho informe, solo pudieron ser analizados los resultados de Transparencia, Clorofila “a” y % Saturación de Oxígeno. Por su parte, el Fósforo Disuelto no pudo ser evaluado en consideración que, durante la mitad del período evaluado, la sensibilidad del método de análisis implementado no permitió cuantificar su cumplimiento. El resto de los parámetros, Nitrógeno Total, Nitrógeno Disuelto y Fósforo

Total, no fueron considerados dado que las metodologías de análisis no se condecían con lo establecido en la norma, o bien los resultados informados eran inconsistentes entre sí, por lo que parte de ellos fueron invalidados por la Dirección General de Aguas (DGA), entidad responsable de medir estos parámetros.

3. ÁREA DE VIGILANCIA PELAGIAL (CENTRO)

3.1 Características área de vigilancia Pelagial (Centro)

El pelagial de un lago está definido por la zonación que muestra la morfología de un lago y está caracterizado por la ausencia de macrófitos en el fondo. De acuerdo con los antecedentes disponibles el pelagial en el lago Villarrica comienza sobre una profundidad (veril) de 20-30 m. (Ver Figura 2).



Figura 2. Área de vigilancia PEL-CENTRO con su respectivo punto de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia

Esta zona fue definida, en base a la morfología simple del lago Villarrica, esta presenta una buena mezcla de agua en la zona pelagial. En el caso del lago Villarrica, en el estudio de Steffen (1995) se ha mostrado que el pelagial del lago Villarrica, generalmente, está muy bien mezclado. Asimismo, un estudio realizado por la DGA en el año 2014, señala que la columna de agua se encuentra mezclada gran parte del año (otoño-invierno-primavera) y estratificada durante verano, resultados que son consistentes con estudios independientes realizados en este sistema (Campos et al., 1983; Campos, 1984). El proceso de estratificación térmica generado durante el periodo estival (verano) en el lago Villarrica conlleva al aislamiento hidrodinámico y a una eventual disminución de la concentración oxígeno, lo cual produce la desnitrificación del sistema por el abandono de N_2 (g) hacia la atmosfera, generándose con ello la limitación de este nutriente para los ensambles biológicos durante verano.

De acuerdo a lo señalado por Woelfl (2009), se puede afirmar, que la masa de agua de un lago siempre hay que verla como una única entidad (especialmente en el caso del lago Villarrica con su morfometría simple). Así, sustancias (por ejemplo nutrientes) que entran a tal lago se dispersan generalmente en todo el lago y afectan toda la masa de agua. No obstante lo anterior, es necesario medir en varias estaciones pelágicas para obtener valores representativos del pelagial con el fin de poder realizar un balance de nutrientes.

Los muestreos en esta área fueron realizados en las 4 campañas de acuerdo a la frecuencia de muestreo establecida en el PMCCA. Los resultados de parámetros meteorológicos se indican en la Tabla 1, y dan cuenta de buenas condiciones de navegación que permitieron la toma de muestras.

Tabla 1. Parámetros meteorológicos estación PELAGIAL (Centro).

Estación PELAGIAL	FECHA DE MUESTREO			
	13/11/2013	04-02-2014	06-10-2014	27-01-2015
Temperatura ambiental (°C)	18,2	16,7	23	15,6
Humedad relativa (%)	62,2	69,0	46	75,5
Velocidad del viento (m/s)	2,2	3,7	1	**
Estado del tiempo (octas)	Nublado (7/8)	Nublado (8/8)	Despejado	Nublado (7/8)
Presión Atmosférica (mbar)	985	990	990	984

** Dato no registrado

3.2 Parámetros fundamentales y determinación de índice de trofía Carlson

La Tabla 2 muestra los resultados de los parámetros fundamentales analizados en esta área de vigilancia. Los valores reportados corresponden a Transparencia, Clorofila "a" y % Sat. Oxígeno. Se indica además los valores de la NSCA para Máximos/Mínimos y promedios.

Tabla 2. Resultados monitoreo de Clorofila "a", Transparencia y % Sat. Oxígeno área de vigilancia PEL-CENTRO.

Fecha campaña	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Transparencia	Promedio ponderado Saturación de Oxígeno (%)		Promedio ponderado ⁽¹⁾ Clorofila "a"
		Columna	Fondo	
13-11-2013	7,5	97,2	94,0	2,0
04-02-2014	5,5	91,0	87,8	2,1
06-10-2014	11,5	88,6	85,1	0,6
27-01-2015	9,5	91,3	84	8,2
Promedio Bianual	8,5	92	90,9/84,6⁽²⁾	3,2
Max/min	5,5	88,6	-	8,2
Norma Promedio	≥9	-	<50	≤3
Norma Min/Max	≥5	≥80	-	≤6

⁽¹⁾ La metodología de cálculo del promedio ponderado de concentraciones aparece en el PMCCA del ANEXO 1.

⁽²⁾ Promedio anual entre primavera 2013 y verano 2014 / primavera 2014 y verano 2015.

 Supera Norma  No se cumple 80% del límite normativo

De la Tabla 2, se puede observar que, en promedio, entre 2013 y 2015 se registró un nivel por debajo de lo establecido en el promedio anual, en tanto que según el Nivel mínimo de la norma, éste se presentó por sobre lo establecido, cumpliendo con la normativa, pero en niveles cercanos a lo estipulado (< 120 % de la norma). En el caso de Clorofila "a", el valor promedio se registró niveles por sobre el promedio anual establecido, siendo el valor máximo superior al valor de la Norma.

Los resultados de monitoreo de los parámetros: Fósforo Total (PT), Fósforo disuelto (Pd), Nitrógeno Total y Nitrógeno disuelto no son reportados en este informe para ninguna de las áreas de vigilancia, ya que, según lo señalado en el informe técnico de cumplimiento de normas de calidad del agua de la SMA, la Dirección General de Aguas invalidó los resultados de estos parámetros por incongruencias en los valores de PT y Pd, a la vez, los valores cuantificados para las especies nitrogenadas, presentaron igual fenómeno, pese a que no fueron invalidados por el laboratorio.

A partir de los resultados de Clorofila "a" y Transparencia, se determinó el índice de trofia para el período analizado, utilizando el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI: Trophic state index) (1977). Este índice se desarrolló para lagos que tienen relativamente pocas macrófitas y donde la Transparencia del agua varía con la biomasa de las algas (o sea la turbiedad esta causada por las algas), donde el fósforo es limitante y donde las algas se desarrollen solamente en verano (Woelfl, 2009). La metodología de cálculo de este índice se muestra en Anexo 2.

De acuerdo a la clasificación de Trofia de Carlson, se observa que en las campañas de 2013 y 2014 el TSI para Secchi y Clorofila "a", dan cuenta de un estado oligo-mesotrófico en la estación Pelagial. En la campaña de 2014, los valores se encuentran en estado de oligotrofia, mientras que en la campaña estiva 2015, el TSI para Clorofila "a" se encontró en un rango de eutrofia.

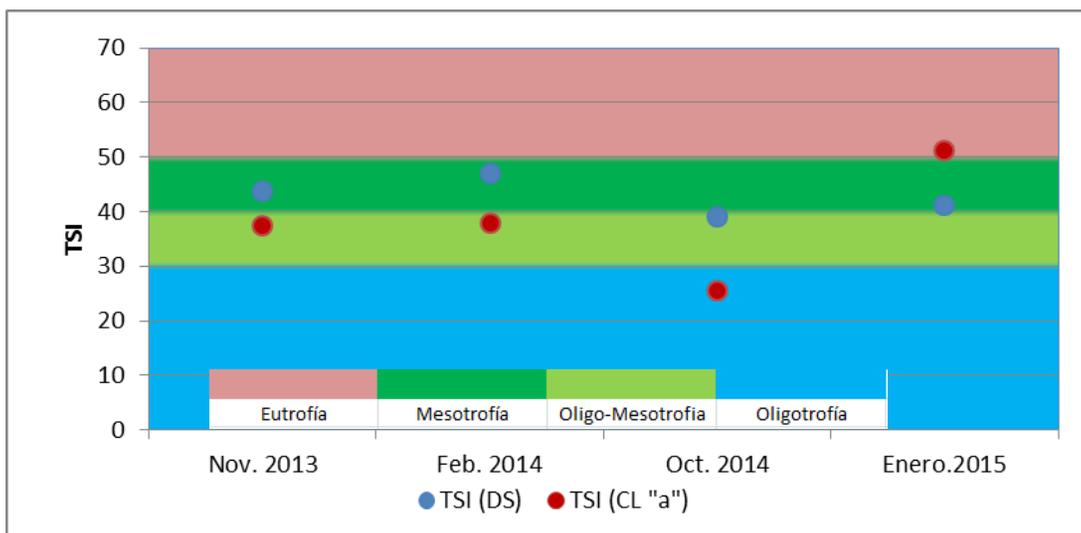


Figura 3. Índice de Carlson aplicado al área Pelagial Centro del lago Villarrica

3.3 Parámetros de intervención antrópica

De acuerdo a lo establecido en el PMCCA, la red de intervención antrópica en el sector Pelagial considera el monitoreo de Hidrocarburos Totales, tanto en superficie, como a los 10 metros de profundidad. Los resultados se muestran en la Tabla 3 identificándose que todas las mediciones realizadas en esta área de vigilancia se encuentran por bajo el Límite de Detección (<2 mg/l) en todas las campañas realizadas.

Tabla 3. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Centro Lago en matriz acuosa, según mediciones realizadas por DIRECTEMAR.

Parámetros	Unidad	Profundidad (m)	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
HCT (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	<5	<5	<5	<5
		10	<5	<5	<5	<5

3.4 Parámetros de condición natural.

Los parámetros referidos a la condición natural del lago Villarrica en el área Pelagial Centro, incorporaron pH, turbidez y oxígeno disuelto, cuyos resultados de las campañas noviembre de 2013, febrero de 2014, octubre de 2014 y enero de 2015, se muestran en la Tabla 4. Asimismo, los perfiles de temperatura, oxígeno Disuelto, conductividad y Clorofila “a”, los cuales fueron medidos con una sonda de conductividad, temperatura y profundidad CTD marca Sea BIRD de la Dirección General de Aguas. Los resultados que se informan en las Figura 4 A y B, corresponden al mes de noviembre de 2014. De la Tabla 4, es posible ver que los valores de pH se mantuvieron en rango de 9 a 7 unidades para las cuatro campañas realizadas. Se observaron valores más elevados en superficie, mientras que en profundidad los valores se mantuvieron cercanos a 7. La Turbiedad más elevada fue registrada en período estival (febrero de 2014), lo cual coincide con el menor registro de Transparencia del agua (5,5 m). En noviembre de 2013 no se registró turbiedad, lo cual coincidió con una medición de Transparencia de 7,5 m. Finalmente, las concentraciones de oxígeno disuelto en toda la columna de agua no registraron diferencias marcadas, manteniéndose entre 9,5 y 10,7 mg/l, lo que es considerado normal para lagos oligotróficos.

Tabla 4. Resultados parámetros pH, Turbiedad y Oxígeno disuelto área Pelagial.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
pH	Unid. pH	0	8,27	9,18	7,78	8,10
		10	8,28	9,51	7,87	8,78
		30	7,51	7,83	7,90	8,19
		70	7,23	7,38	7,86	7,95
		100	7,15	7,44	7,94	7,85
Turbiedad	NTU	0	0,0	1,9	0,4	1,0
		10	0,0	7,4	0,4	1,5
		30	0,0	0,7	0,4	1,3
		70	0,0	0,4	0,0	0,9
		100	0,0	0,3	0,0	1,1
		0	10,78	10,23	10,59	9,76
		10	11,07	10,40	10,15	10,17

Oxígeno Disuelto	(mg/l)	30	10,84	9,03	10,32	10,40
		70	10,45	9,93	9,35	9,85
		100	10,41	9,75	9,50	9,57

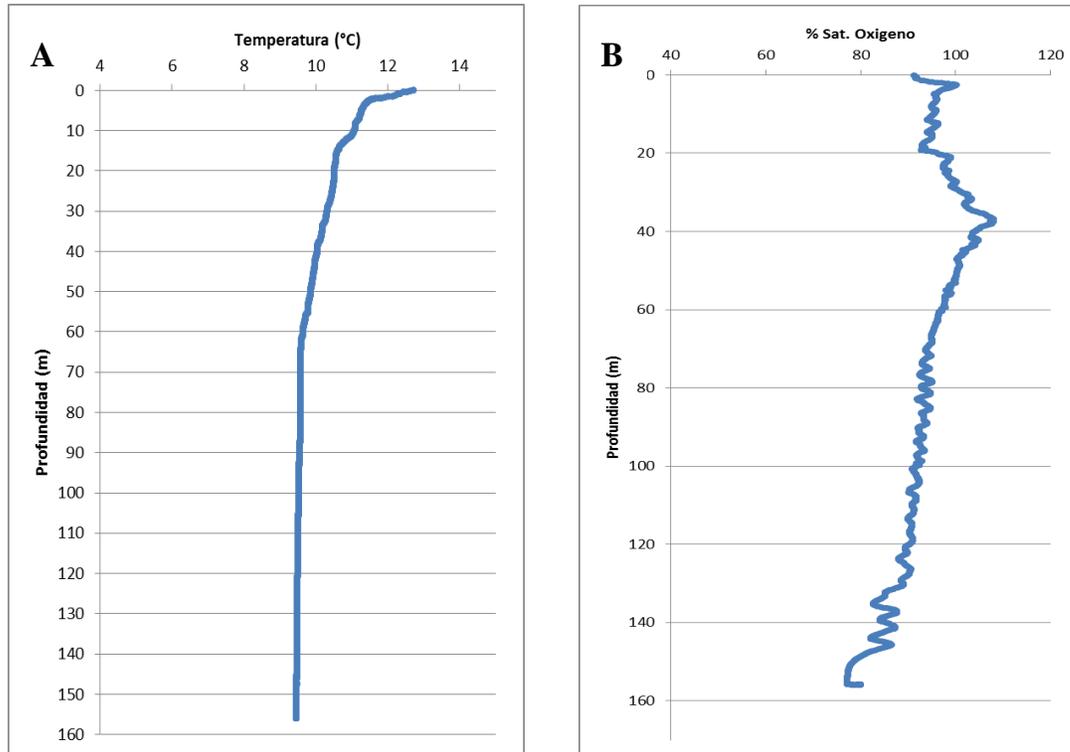


Figura 4. Perfiles obtenidos a través de CTD estación Pelagial Centro en época estival (noviembre de 2014) A) Perfil de temperatura; B) % Sat. Oxígeno.

A partir de la información de la Figura 4 A, se observa que en el período de Noviembre de 2014, existe una leve diferencia de temperaturas que separan las capas de aguas, no observándose una marcada estratificación térmica en este período. Asimismo, de la Figura 4 B, se observa que el % de saturación de oxígeno comienza a disminuir con la profundidad, desde un 108% cercano a los 40 m, hasta un 77% en la máxima profundidad, 156 m.

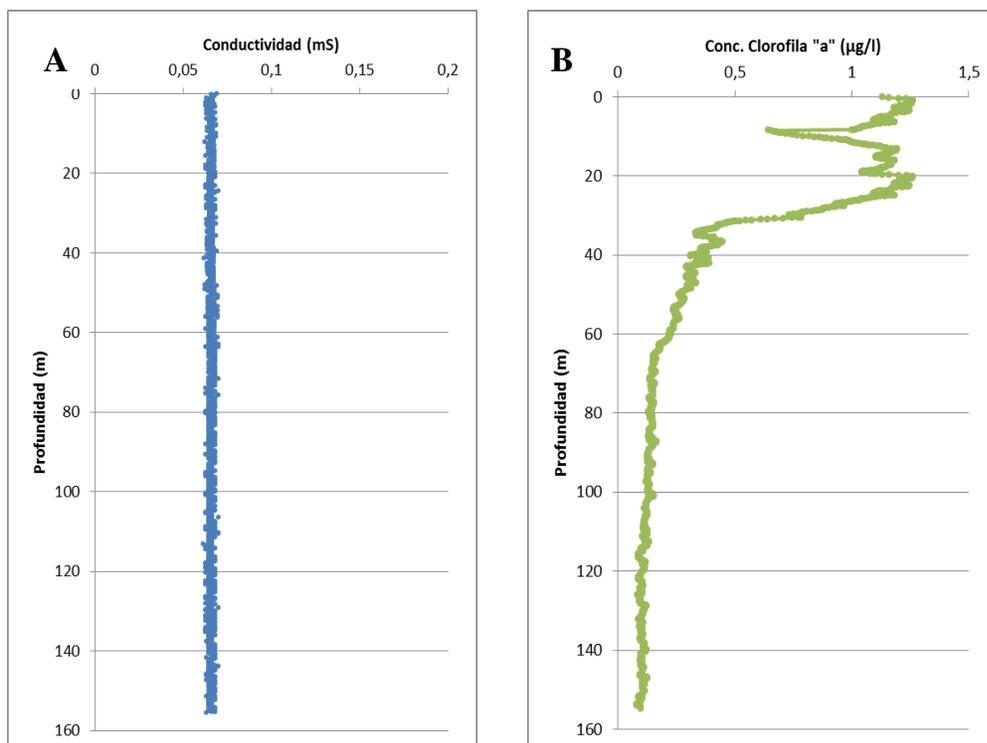


Figura 5. Perfiles obtenidos a través de CTD estación pelagial centro en época estival (noviembre de 2014) A) Perfil de Oxígeno Disuelto; B) Perfil Clorofila "a" ($\mu\text{g/l}$)

A partir de la información de la Figura 5 A, se puede observar que no existen diferencias marcadas en el perfil de conductividad del agua para la campaña de Noviembre de 2014. Respecto a la Figura 5 B, se observa que las concentraciones de Clorofila "a", se encuentran en su valor máximo cercano a los 20 metros de profundidad ($1,13 \mu\text{g/l}$), que es la zona a la cual penetra la radiación solar, mientras que la concentración decrece a medida que se aumenta en profundidad, alcanzando valores menores a los $0,4 \mu\text{g/l}$.

3.5 Resultados de bioindicadores área pelagial (Centro).

- FITOPLANCTON (AB. Y COMP., CEL/ML)

De acuerdo a lo establecido en el PMCCA, fueron realizadas las mediciones de las comunidades fitoplanctónicas del área Pelagial a diferentes profundidades: 0, 10, 30, 70 y 100 m. En este informe, se indican los resultados obtenidos por la Dirección General de Aguas para 4 campañas, Noviembre de 2013, Febrero de 2014, octubre de 2014 y enero de 2015. Para cada punto de muestreo y periodo del año se presenta el promedio de densidad celular estimado en base a los valores de las distintas muestras de agua tomadas a profundidades discretas.

De la Tabla 5 y la Figura 6, se observa que la clase más abundante en esta estación definida en la campaña de noviembre de 2013, pertenece a Bacillariophyceae (Diatomeas) y particularmente a la especie *Fragilaria crotonensis* Kitton. Este grupo de organismos se caracteriza por ser sensibles a la eutrofización, a la variación orgánica y mineral. Además,

reaccionan de manera muy rápida a las modificaciones de la calidad del agua y pueden responder a las variaciones producidas de una manera discontinua. Son indicadores de calidad a corto plazo porque las poblaciones se reconstituyen rápidamente después de la desaparición de la intervención. Es así como mayores abundancias son características de lagos oligotróficos.

Tabla 5. Abundancia de especies estación PELAGIAL-CENTRO período Noviembre de 2013.

PELAGIAL CENTRO	Superficie		10 m		30 m		70 m		100m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE										
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	50.313	15,8	37.485	16,7	66.973	20,5	54.978	18,6	25.823	38,2
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agarth) Brébisson	1.833	0,6	1.000	0,4	2.332	0,7	4.498	1,5	1.333	2,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	264.894	83,1	179.928	80,4	251.566	76,9	233.240	78,9	39.984	59,1
<i>Gomphonema</i> sp.	167	0,1			167	0,1	167	0,1		
<i>Cymbella</i> sp.							833	0,3		
DINOPHYCEAE										
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	167	0,1	333	0,1	167	0,1	333	0,1		
CRYPTOPHYCEAE										
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	666	0,2	5.165	2,3	2.499	0,8	1.000	0,3	500	0,7
<i>Crytomonas ovata</i> Ehrenberg										
CHLOROPHYCEAE										
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood	333	0,1			333	0,1	333	0,1		
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	333	0,1			333	0,1				
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> West (Fil/L)					2.666	0,8				
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat (Col/L)							167	0,1		
Abundancia total (cel L⁻¹)	318.706	100%	223.910	100%	327.036	100%	295.548	100%	67.640	100%

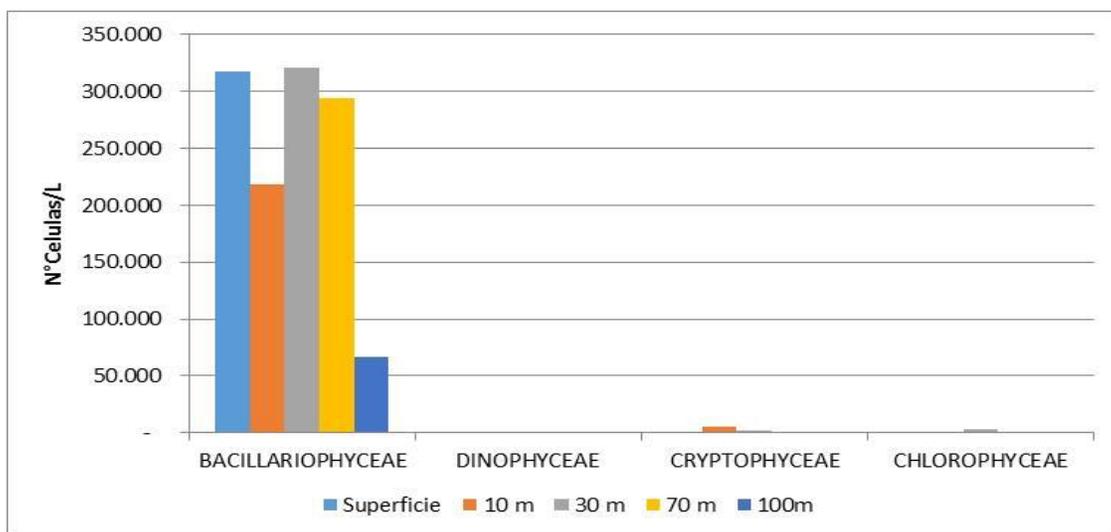


Figura 6. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Noviembre del 2013.

De la Tabla 6 y Figura 7, se observa que la clase más abundante en esta estación definida en la campaña estival de febrero de 2014, también corresponde a Bacillariophyceae con densidades celulares 10 veces inferiores a la campaña de noviembre de 2013. Aparecen además las clases Dinophyceae y en menor proporción Cyanophyceae. En particular, la presencia del género *Microcystis*, puede indicar una tendencia del lago a la eutrofización.

Tabla 6. Abundancia de especies estación PELAGIAL-CENTRO período Febrero de 2014.

PELAGIAL CENTRO	Superficie		10 m		30 m		70 m		100m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE										
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg)	1.999	4,78	1.887	7,0	1.245,0	10,1	3.920,0	76,1	3.248,0	20,8
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh)					166,0	1,3	224,0	4,3	56,0	0,4
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	25.656	61,35	13.986	51,6	3.818,0	0,9			10.976,0	70,3
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen			555	2,0	249,0	2,0	112,0	2,2		
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot			111	0,4			56,0	1,1		
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith			333	1,2						
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen									392,0	2,5
Otras diatomeas penadas									56,0	0,4
<i>Achnanthes</i> sp.					83,0	0,7				
DINOPHYCEAE										
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller)	11.495	27,49	6.993	25,8	4.565,0	36,9	616,0	12,0	504,0	3,2
<i>Peridinium willei</i> Huitfeld-Kaas	167	0,40								
CRYPTOPHYCEAE										
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	1.833	4,38	2.109	7,8	830,0	6,7	112,0	2,2	280,0	1,8
XANTHOPHYCEAE										
<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson (Fil/L)	333	0,80	777	2,9	1.245,0	10,1	56,0	1,1	56,0	0,4
CHLOROPHYCEAE										
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat (Col/L)	333	0,80	222	0,8						
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt			111	0,4						
<i>Closterium acutum</i> Brébisson					166,0	1,3				
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat									56,0	0,4
CYANOPHYCEAE										
<i>Microcystis elachista</i> (West & G.S.West) Starmach (Col/L)							56,0	1,1		
Abundancia total (cel L⁻¹)	41.817	100%	27.084	100%	12.367	100%	5.152	100%	15.624	100%

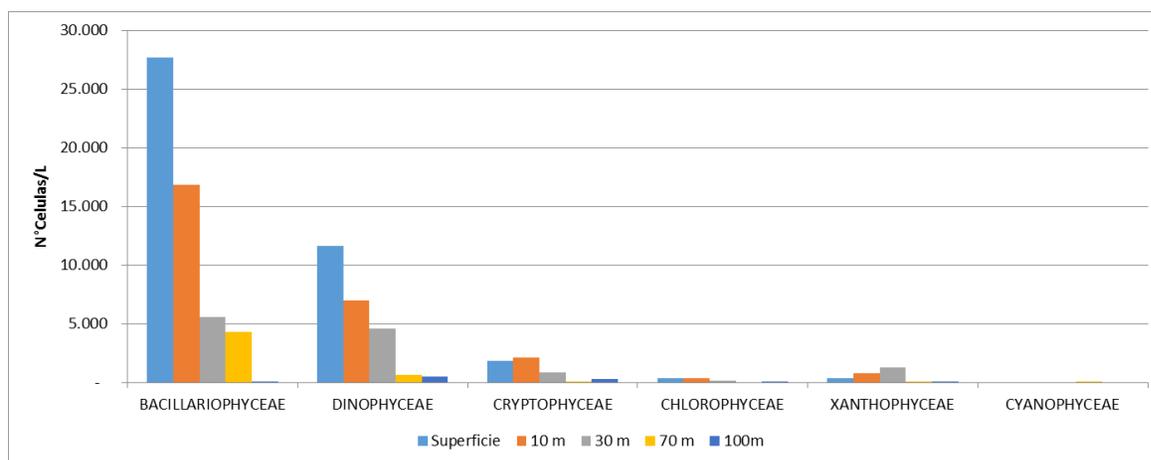


Figura 7. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Febrero de 2014.

De la Tabla 7 y Figura 8, se observa que la clase más abundante la campaña estival de febrero de 2014, corresponde a Chlorophyceae, la cuál se vé mejor representada en superficie. Asimismo, aparece la clase Cryptophyceae, representada por el género *Rhodomonas* y en menor proporción Cyanophyceae, con la especie *Pseudoanabaena* sp., la cual puede indicar una tendencia del lago a la eutrofización.

Tabla 7. Abundancia de especies estación PELAGIAL-CENTRO período Octubre de 2014.

PELAGIAL CENTRO	Superficie		10 m		30 m		70 m		100m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE										
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	500	0,1	400	0,4	240	0,2	40	0,1	40	0,1
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	960	0,3	1.760	1,7	960	0,8	360	0,7	240	0,4
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	204.729	60,9	27.682	26,0	28.835	25,4	2472	4,8	5.400	8,2
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	440	0,1	27.682	26,0	320	0,3	0	0,0	0	0,0
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	1440	0,4	6.480	6,1	960	0,8	0	0,0	160	0,2
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	5.767	1,7	9.227	8,7	0	0,0	0	0,0	10647	16,1
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	80	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat	2.240	0,7	2840	2,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Sphaeroszma aubertianum</i> W.West	180	0,1	0	0,0	0	0,0	200	0,4	0	0,0
<i>Staurastrum planctonicum</i> Teiling	0	0,0	0	0,0	0	0,0	20	0,0	0	0,0
<i>Ulothrix sp.</i>	40	0,0	440	0,4	0	0,0	200	0,4	0	0,0
especie no determinada	0	0,0	160	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
DINOPHYCEAE										
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	20	0,0	560	0,5	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	0	0,0	0	0,0	160	0,1	0	0,0	0	0,0
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	40	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
BACILLARIOPHYCEAE										
<i>Achnanthes spp.</i>	2.884	0,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Aulacoseira granulata var</i> <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen	0	0,0	0	0,0	0	0,0	560	1,1	0	0,0
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	160	0,0	0	0,0	80	0,1	910	1,8	140	0,2
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	8.651	2,6	80	0,1	200	0,2	180	0,4	320	0,5
<i>Cymbella sp.</i>	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	60	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	600	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	220	0,1	200	0,2	0	0,0	1580	3,1	700	1,1
<i>Fragilaria sp1.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2472	4,8	0	0,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange- Bertalot	120	0,0	200	0,2	0	0,0	20	0,0	0	0,0
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	20	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	17.301	5,1	0	0,0	0	0,0	9886	19,4	5323	8,1
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	0	0,0	0	0,0	80	0,1	0	0,0	160	0,2
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	0	0,0	4614	4,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	20	0,0	80	0,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
CRYSOPHYCEAE										
<i>Mallomonas sp.</i>	200	0,1	320	0,3	1000	0,9	0	0,0	0	0,0
CRYPTOPHYCEAE										
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	20	0,0	640	0,6	120	0,1	60	0,1	20	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	89.389	26,6	23.068	21,7	80.738	71,0	32.130	62,9	42.587	64,6
CYANOPHYCEAE										
<i>Pseudoanabaena sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	200	0,3
Abundancia total (cel L⁻¹)	336.080	100	106.512	100	113.733	100	51.090	100	65.957	100

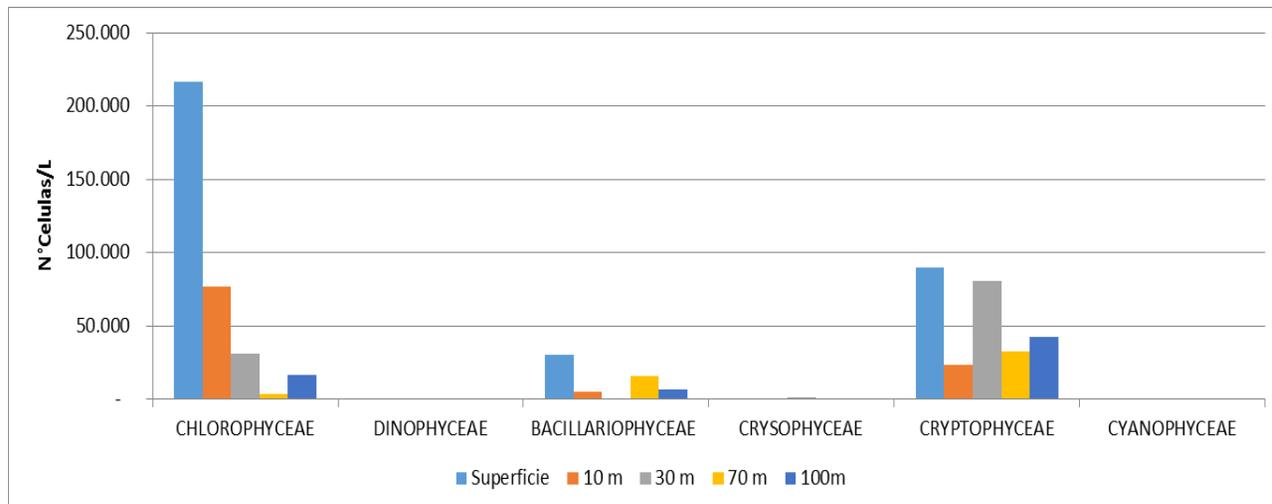


Figura 8. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Octubre de 2014.

De la Tabla 8 y Figura 9, se observa que la clase más abundante en la campaña estival de enero de 2015, corresponde a Chlorophyceae, la cuál se vé mejor representada en superficie por *Kirchneriella lunaris*, especie característica de lagos eutrofos. Por su parte, Bacillariophyceae alcanza el segundo lugar de abundancia, representada en mayor medida por la especie *Dicostella stelligera*, la cual se distribuyó de manera uniforme en la columna de agua. Asimismo, aparece la clase Cryptophyceae, representada por el género *Rhodomonas* y en menor proporción Cyanophyceae, con *Pseudoanabaena sp.*, la cual puede indicar una tendencia del lago a la eutrofización. Cabe señalar que este período se presentó la mayor densidad celular para taxa de cianófitas, en comparación con las campañas anteriormente realizadas.

Tabla 8. Abundancia de especies estación PELAGIAL-CENTRO período enero de 2015.

PELAGIAL CENTRO	Superficie		10 m		30 m		70 m		100m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE										
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	1.300	0,1	400	0,1	1000	0,1	200	0,1	600	0,1
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	6.970	0,5	5.767	1,4	8651	0,7	0	0,0	23.068	3,1
<i>Cosmarium sp.</i>	50	0,0	700	0,2	300	0,0	350	0,1	500	0,1
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	6.920	0,5	11.534	2,8	8651	0,7	0	0,0	0	0,0
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	41.522	3,0	23.068	5,5	17301	1,5	0	0,0	9600	1,3
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	539.792	39,3	86.505	20,8	579.585	49,0	11.534	3,8	34.602	4,7
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	0	0,0	0	0,0	17301	1,5	50	0,0	46.136	6,3
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chordat	0	0,0	0	0,0	69204	5,8	250	0,1	0	0,0
<i>Sphaeroszma aubertianum</i> W.West	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	6.000	0,8
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	150	0,0	100	0,0	300	0,0	50	0,0	200	0,0
DINOPHYCEAE										
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	6.000	0,4	3.000	0,7	5.700	0,5	1.000	0,3	3500	0,5
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	3.900	0,3	300	0,1	2.000	0,2	250	0,1	100	0,0
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	6.000	0,4	1.100	0,3	6.800	0,6	800	0,3	500	0,1
BACILLARIOPHYCEAE										
<i>Achnanthes spp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	11.534	1,6

<i>Amphipleura sp.</i>	100	0,0	100	0,0	0	0,0	50	0,0	0	0,0
<i>Amphora sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	100	0,0
<i>Aulacoseira granulata var angustisima</i> (O.F.Müller) Simonsen	2.250	0,2	12.380	3,0	5630	0,5	13.800	4,6	25.300	3,4
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	43.680	3,2	31.080	7,5	28560	2,4	85.680	28,4	80.640	11,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	50	0,0	17.301	4,2	8651	0,7	11.534	3,8	11.534	1,6
<i>Cymbella sp.</i>	50	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	145.329	10,6	69.204	16,6	121.107	10,2	103.806	34,4	207.612	28,3
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	0	0,0	50	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	29.200	2,1	16.000	3,8	19.500	1,6	4.500	1,5	49.000	6,7
<i>Fragilaria sp.</i>	0	0,0	600	0,1	0	0,0	0	0,0	2.000	0,3
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	100	0,0	0	0,0	0	0,0	150	0,0	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	34.602	2,5	5.767	1,4	8651	0,7	5.767	1,9	23.068	3,1
<i>Navicula sp.</i>	0	0,0	50	0,0	0	0,0	0	0,0	100	0,0
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	200	0,0
<i>Nitzschia sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	23.068	3,1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	6.920	0,5	5767	1,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	159.170	11,6	28.835	6,9	103.806	8,8	5.767	1,9	23.068	3,1
CRYSOPHYCEAE										
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	0	0,0	5.767	1,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Mallomonas sp.</i>	0	0,0	900	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
CRYPTOPHYCEAE										
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	13.841	1,0	5.767	1,4	8.651	0,7	5.767	1,9	11.534	1,6
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	276.817	20,2	63.437	15,2	121.107	10,2	40.369	13,4	115.340	15,7
CYANOPHYCEAE										
<i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst	48.300	3,5	20.700	5,0	41.400	3,5	10.350	3,4	25.300	3,4
Abundancia total (cel L⁻¹)	1.373.014		416.180		1.183.854		302.024		734.205	

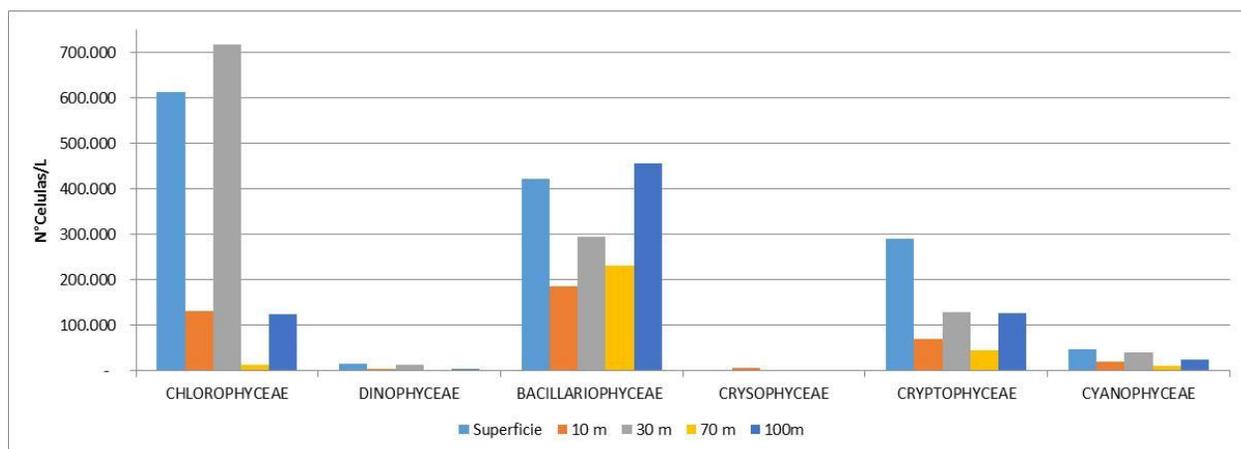


Figura 9. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015.

4. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL PUCÓN

4.1 Características del área Litoral Pucón.

El área de vigilancia litoral Pucón (LIT-Pucón) representa un sector influenciado por la zona urbana de esta comuna. En esta zona se concentran descargas de tipo difuso, aportes de carga asociadas a las casas de veraneo del sector, junto a fuentes de tipo difusa de propiedades colindantes al lago. El sector, se limita desde la playa grande de Pucón, hasta el estero denominado zanjón seco. Las áreas litorales, se ubican desde la orilla hasta una profundidad (veril) de 20-30 m. Ver Figura 10.



Figura 10. Representación del área de vigilancia Litoral Pucón y su respectivo punto de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia

Esta estación, presenta monitoreos en todas las campañas realizadas, de acuerdo a lo establecido en el PMCCA, por tanto, según lo señalado en la Tabla 9, se contó con buenas condiciones de navegación que permitieron la toma de muestras. Las muestras de agua en esta área fueron realizadas a 0, 10, 20, metros de profundidad.

Tabla 9. Parámetros meteorológicos estación LIT-PUCON

Estación PELAGIAL	FECHA DE MUESTREO			
	13/11/2013	04-02-2014	06-10-2014	27-01-2015
Temperatura ambiental (°C)	14,4	17,9	14,9	27,7
Humedad relativa (%)	57,5	57,9	55,3	48,4
Velocidad del viento (m/s)	0,4	0,7	0,6	1,2
Estado del tiempo (octas)	Nublado (4/8)	Nublado (4/8)	Nublado (8/8)	Despejado
Presión Atmosférica (mbar)	1000	980	993	987

4.2 Parámetros fundamentales y determinación de índice de trofia Carlson

La Tabla 10 muestra los resultados de los parámetros fundamentales analizados en esta área de vigilancia. Los valores reportados corresponden a Transparencia, y Clorofila “a”. Se indican además los valores de la NSCA para Máximos/Mínimos y promedios.

Tabla 10. Resultados de monitoreo de Cl “a”, Transparencia y % sat. Oxígeno área de vigilancia LIT-PUCON.

Fecha campaña	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Transparencia	Saturación Oxígeno (%)	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Clorofila "a"
13-11-2013	8	108,7	2,8
04-02-2014	4,5	104,9	5,6
06-10-2014	9	99,8	1,6
27-01-2015	10,5	109,5	14,8
Promedio BIANUAL	8,0	105,7	6,2
Max/min	4,5	99,8	14,8
Norma Promedio	≥7	-	≤5
Norma Min/Max	≥4	≥70	≤10

⁽¹⁾La metodología de cálculo del promedio ponderado de concentraciones aparece en el PMCCA del ANEXO 1.

⁽²⁾Promedio anual entre primavera 2013 y verano 2014 / primavera 2014 y verano 2015.

 Supera Norma  No se cumple 80% del límite normativo

De la Tabla 10, se puede observar que los valores promedio y mínimos de Transparencia de la norma se presentaron por sobre lo establecido en la norma, pero en niveles cercanos a lo estipulado (< 120 % de la norma). En el caso de Clorofila “a”, el valor promedio se registró niveles por sobre el promedio anual establecido, siendo el valor máximo fue superior al valor de la Norma.

De acuerdo a la clasificación de trofia de Carlson, para las campañas de 2014 y 2015 el TSI para Secchi da cuenta de un estado de oligotrofia. No obstante los datos de TSI para Clorofila “a” (en 2 de las 4 campañas), muestran que este indicador se encuentra en nivel de mesotrofia, siendo la campaña de 2015, la que se encontró en nivel eutrófico.

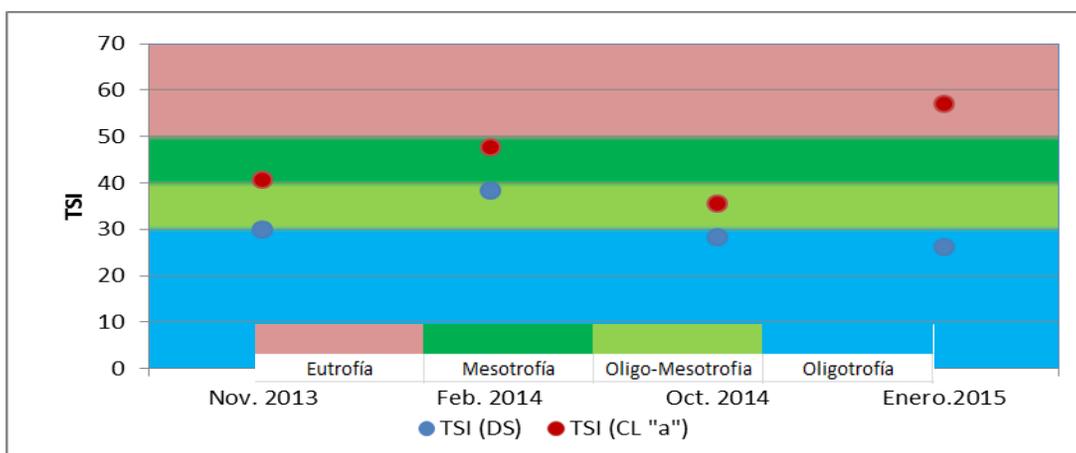


Figura 11. Índice de Carlson aplicado al área Lit-Pucón del lago Villarrica

4.3 Parámetros de Intervención antrópica.

De acuerdo a lo establecido en el PMCCA, la red de intervención antrópica para las áreas litorales considera el monitoreo en: 1) Matriz acuosa y 2) Matriz de sedimentos. En el caso de la matriz acuosa, el área Litoral Pucón consideró el monitoreo de los Hidrocarburos totales (HCT), DQO, DBO₅ y Sílice en tres profundidades (superficial, 10 y 20 metros). El monitoreo estuvo a cargo de la DIRECTEMAR y los resultados para las 4 campañas realizadas, se muestran en la Tabla 11. Respecto a los HCT, se puede observar que los valores obtenidos se encuentran por bajo el Límite de detección para este parámetro, al igual que el parámetro DBO₅.

Tabla 11. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Pucón en matriz acuosa, según mediciones realizadas por DIRECTEMAR en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Parámetros	Unidad	Profundidad (m)	13/11/2013	04/02/2014	10/11/2014	27/01/2015
DBO₅ (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	<2	<2	<2	<2
		10	<2	<2	<2	<2
		20	<2	<2	<2	<2
DQO (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	<2	<2	6	62
		1,5	3	<2	6	66
		2,5	2	<2	11	59
HCT (LD= 5 mg/l)	mg/ L	0,5	<5	<2,5	<5	<5
		10	*	*	*	*
		20	*	*	*	*
SILICE (LD=0,1 mg/L)	mg/ L	0,5	7,1	19	29	34
		10	7,2	18	30	30
		20	8,8	18	26	28

*No se realiza medición en estas profundidades.

En la Figura 12 A, se muestra la tendencia hacia el aumento de las concentraciones de DQO y en la Figura 12 B, se muestra el aumento experimentado por el Sílice en las campañas de muestreo realizadas. Se observa que prácticamente no existen diferencias entre las profundidades a las cuales fue realizada la medición.

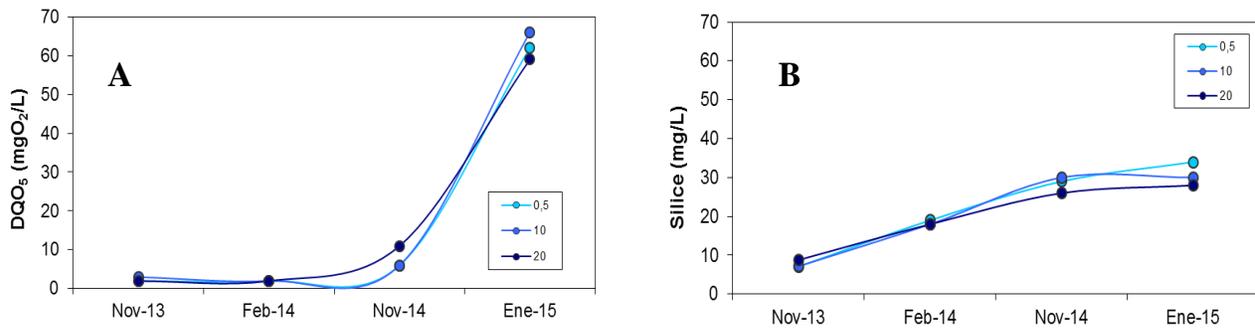


Figura 12. Representación gráfica de los resultados de A) DQO (mg/l) y B) Sílice (mg/l).

La Tabla 12, muestra los resultados obtenidos para la matriz sedimentos de acuerdo a lo establecido por el programa de vigilancia. Las concentraciones de metales pesados analizados como Cd, Pb, Hg resultaron por debajo del Límite de Detección de la técnica en los sedimentos, siendo detectados Cu y As en todas las campañas realizadas.

Tabla 12. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Pucón en sedimentos según mediciones realizadas por DIRECTEMAR.

Parámetros	Red de Observación - Matriz sedimentaria				
	Unidad	05-02-2014	10-11-2014	26-01-2015	
Cadmio	mg/Kg	<0,1	<0,1	<0,1	
Cobre	mg/Kg	18	18	9,1	
Plomo	mg/Kg	<0,5	<0,5	<0,5	
Arsénico	mg/Kg	0,62	-	0,15	
Mercurio	mg/Kg	<0,01	-	0,05	
Hidrocarburos Totales	mg/Kg	<10	<10	<10	
Materia Orgánica	%	2,6	0	0,3	
COT	g/Kg	1.695	-	-	
COT	%	-	-	0,0027	
NTK	mg/Kg	240	78	239	
Fósforo Total	mg/Kg	3,3	41	126	
Granulometría (% Retención)	Micrones	Clasificación			
	2000	Arena muy gruesa	19,7	10,9	6,16
	1000	Arena gruesa	28,9	6,56	17,6
	500	Arena media	27,1	33,1	39,8
	250	Arena fina	12,8	35,6	13,9
	125	Arena muy fina	8,59	11,4	13,7
	63	Limo grueso	2,76	2,39	6,02

La matriz sedimentos, presenta características texturales principalmente de arena gruesa (28,9 %) y en menor cantidad limo grueso (2,76%). En esta área de vigilancia, no se midieron perfiles de temperatura, Oxígeno Disuelto ni Clorofila "a", por tanto, estos no son reportados en este informe.

4.4 Parámetros de condición natural.

Los parámetros referidos a la condición natural del Lago Villarrica en el área LIT-PUCON, incorporaron pH, turbidez (NTU) y oxígeno disuelto (mg/l), cuyos resultados de las campañas Noviembre de 2013, Febrero de 2014, Octubre de 2014 y Enero de 2015, se muestran en la Tabla 13. Los perfiles de Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad y Clorofila "a", no fueron medidos por la DGA en esta área de vigilancia.

Tabla 13. Resultados parámetros pH, Turbiedad y Oxígeno disuelto LIT-PUCON.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
pH	Unid. pH	0	8,25	8,97	8,01	8,88
		10	8,07	8,85	7,94	8,79
		30	7,83	8,22	8,04	8,40
Turbiedad	NTU	0	3,5	1,4	1,5	2,5
		10	0,0	1,5	1,0	2,0
		30	0,0	0,0	0,9	1,4
Oxígeno Disuelto	(mg/l)	0	10,90	9,57	10,42	9,42
		10	10,95	9,40	10,59	9,98
		30	11,13	9,26	11,27	11,02

En la Tabla 13, es posible ver que los valores de pH se mantuvieron en rango de 8,9 a 7,8 unidades para las cuatro campañas realizadas. La Turbiedad más elevada fue registrada en período estival (Enero de 2015) y no existió correlación entre la Transparencia del agua con los valores de turbiedad. No obstante, los valores registrados en superficie fueron bajos, entre 3,5 y 1,4 NTU. Finalmente, las concentraciones de oxígeno disuelto en toda la columna de agua no registraron mayores diferencias, manteniéndose entre 9,50 y 10,78 mg/l, normal para lagos oligotróficos.

4.5 Resultados de bioindicadores área Lit-Pucón.

- FITOPLANCTON (AB. Y COMP., CEL/ML)

A continuación se muestran los resultados de la comunidad fitoplactónica para los meses Noviembre de 2013, Febrero de 2014, Octubre de 2014 y Enero de 2015. Las mediciones realizadas en esta área, consideraron un total de 3 profundidades, de acuerdo a lo establecido en el PMCCA.

En la Tabla 14 y Figura 13, se observa que la clase más abundante en la campaña de Noviembre de 2013, corresponde a Bacillariophyceae, organismos sensibles a la eutrofización, a la variación orgánica y mineral. Esta clase está representada en mayor proporción por *Fragilaria crotonensis*, la cual se distribuye de manera uniforme en la columna de agua con una representación cercana al 80% del total de especies identificadas.

Tabla 14. Abundancia de especies estación LIT-Pucón, período Noviembre de 2013.

Lago Villarica, Litoral Pucón	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	40.817	13,43	49.980	9,31	43.316	14,13
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	2.666	0,88	2.832	0,53	1.666	0,54
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	256.564	84,43	474.810	88,48	239.904	78,26
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	333	0,11				
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	500	0,16	333	0,06		
<i>Navicula</i> sp.	333	0,11	666	0,12		
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson			167	0,03		
<i>Melosira varians</i> C.Agardh			833	0,16		
<i>Cymbella minuta</i> Hilse					167	0,05
<i>Cymbella</i> sp.					333	0,11
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow					13.328	4,35
<i>Melosira varians</i> C.Agardh					1.666	0,54
DINOPHYCEAE					-	-
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	666	0,22	167	0,03	1.000	0,33
CRYPTOPHYCEAE					-	-
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	167	0,05	6.164	1,15	1.666	0,54
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	167	0,05			2.332	0,76
CHLOROPHYCEAE						
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood	666	0,22			666	0,22
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat (Col/L)	1.000	0,33	666	0,12	500	0,16
TOTAL	303.878	100	536.619	100	306.544	100

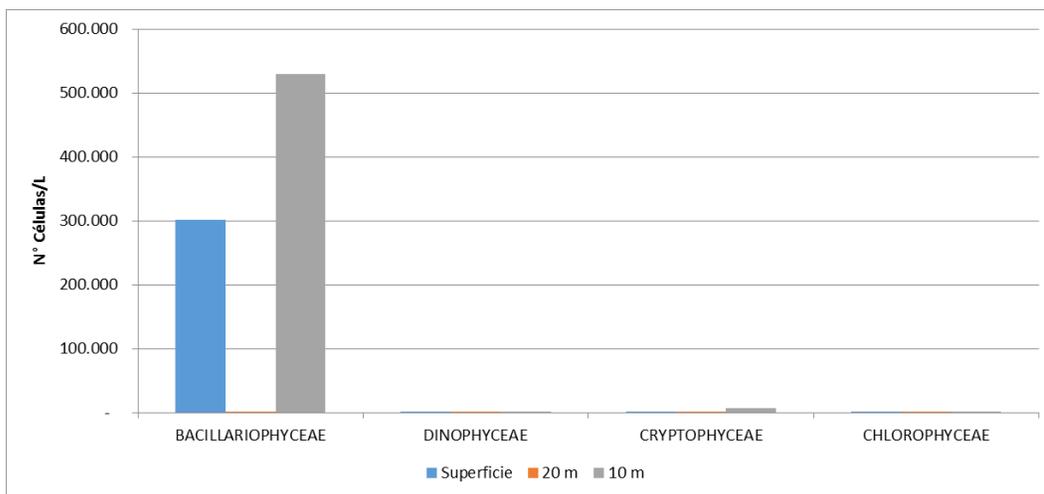


Figura 13. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Noviembre del 2013.

De la Tabla 15 y Figura 14, se observa que la clase más abundante en esta estación en la campaña de Noviembre de 2013, pertenece a Bacillariophyceae. En este caso la especie más abundante corresponde a *Fragilaria crotonensis*, la cual se encontró al igual que el área Lit-Norte, pero con menor densidad celular. La clase Dinophyceae estuvo bien representada siendo la especie *Ceratium hirundinella* la con mayor densidad. De acuerdo a CENMA, 2011, En Chile

esta especie está sindicada como una especie indicadora de los procesos de eutrofización de los lagos araucanos.

Tabla 15. Abundancia de especies estación LIT-Pucón, período Febrero 2014.

Lago Villarica, LIT PUCON	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	1.333	3,1	25.974	17,0		
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	167	0,4	1.332	0,9	111	0,3
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	23.157	54,7	63.936	41,8	25.752	76,6
<i>Melosira hustedtii</i> G.Krasske	666	1,6	8.658	5,7		
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	167	0,4	666	0,4		
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	666	1,6			111	0,3
Otras diatomeas penadas	333	0,8	2.997	2,0	111	0,3
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen			1.998	1,3	333	1,0
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing			2.664	1,7		
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson			333	0,2		
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner			333	0,2		
<i>Epithemia sorex</i> Kützing			666	0,4		
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot			999	0,7		
<i>Fragilaria</i> sp.			25.308	16,6		
<i>Gomphonema</i> sp.			1.332	0,9		
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing			333	0,2		
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Kützing			333	0,2		
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst			666	0,4		
<i>Nitzschia</i> sp.			333	0,2		
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot			2.664	1,7		
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller			666	0,4		
<i>Cymbella affinis</i> Kützing					111	0,3
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg			6.327	4,1	111	0,3
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith					111	0,3
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn (Fil/L)	333	0,8				
<i>Merismopedia</i> sp.(Col/L)			333	0,2		
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	13.495	31,9	3.996	2,6	6.327	18,8
<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	333	0,8				
<i>Gymnodinium</i> sp.	666	1,6				
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	833	2,0			222	0,7
CLOROPHYCEAE						
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	167	0,4				
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood					111	0,3
XANTHOPHYCEAE						
<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson (Fil/L)					222	0,7
TOTAL	42.316	100	152.847	83	33.633	100

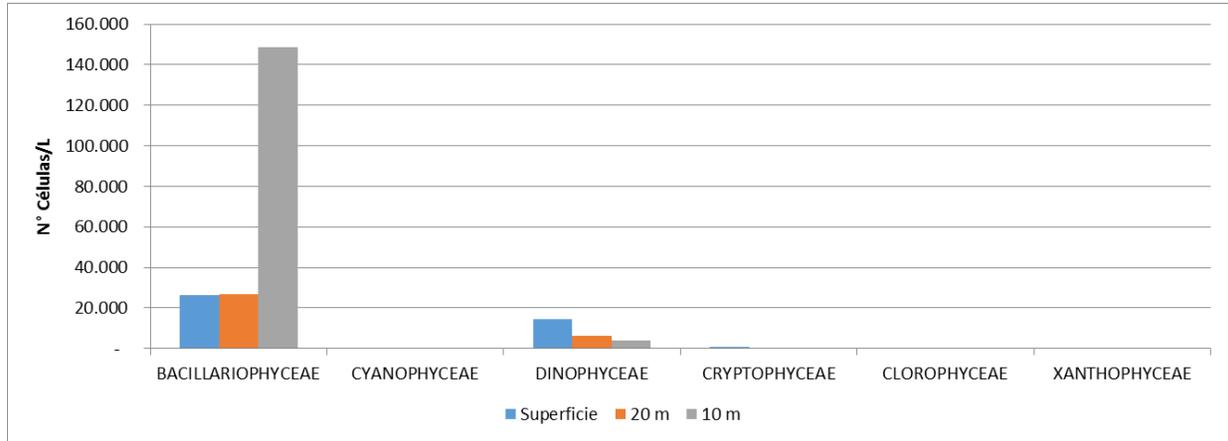


Figura 14. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en febrero del 2014.

En la Tabla 16 y Figura 15, se observa que la campaña Octubre de 2014 estuvo dominada por la presencia organismos de la clase Chlorophyceae, representada por diversas especies, entre ellas *Kirchneriella lunaris*, *Dictyosphaerium pulchellum* y *Closterium acutum*. Las clases Cryptophyceae y Bacillariophyceae también estuvieron representadas, pero con menores densidades celulares.

Tabla 16. Abundancia de especies estación LIT-Pucón, período octubre de 2014.

LIT PUCON	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	240	0,2	360	0,3	140	0,2
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	11.534	9,1	9.886	8,4	1.504	1,9
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	17.301	13,7	42.017	35,7	45.133	55,7
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	5767	4,6	2472	2,1	1504	1,9
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	320	0,3	0	0,0	0	0,0
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	40.369	32,0	2472	2,1	1504	1,9
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat	1.600	1,3	960	0,8	1280	1,6
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W.West	0	0,0	800	0,7	0	0,0
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	0	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Ulothrix</i> sp.	0	0,0	240	0,2	0	0,0
<i>Zygnema</i> sp.	80	0,1	0	0,0	0	0,0
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	0	0,0	60	0,1	40	0,0
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	0	0,0	20	0,0	2100	2,6
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	320	0,3	0	0,0	0	0,0
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	40	0,0	3120	2,7	4930	6,1
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0,0	360	0,3	420	0,5
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	0	0,0	20	0,0	0	0,0
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	0	0,0	20	0,0	1504	1,9
<i>Cymbella</i> sp.	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	40	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	0	0,0	1620	1,4	400	0,5
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	1.680	1,3	960	0,8	300	0,4
<i>Fragilaria</i> sp1.	80	0,1	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	280	0,2	280	0,2	20	0,0
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	0	0,0	60	0,1	0	0,0

<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	0	0,0	120	0,1	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	9886	8,4	1504	1,9
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	0	0,0	1120	1,0	360	0,4
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing	0	0,0	160	0,1	0	0,0
<i>Navicula</i> sp.	5.767	4,6	0	0,0	0	0,0
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	0	0,0	2472	2,1	0	0,0
<i>Nitzschia sigmaidea</i> (Nitzsch) W.Smith	0	0,0	20	0,0	0	0,0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	240	0,2	440	0,4	0	0,0
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas</i> sp.	0	0,0	4943	4,2	1764	2,2
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	5.767	4,6	0	0,0	1504	1,9
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	0	0,0	2472	2,1	0	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	34.602	27,4	27187	23,1	15.044	18,6
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena</i> sp.	0	0,0	600	0,5	0	0,0
<i>Oscillatoria aff planctonica</i> Woloszynska	0	0,0	2472	2,1	0	0,0
Abundancia total (cel L⁻¹)	126.187	100	117.618	100	80.999	100

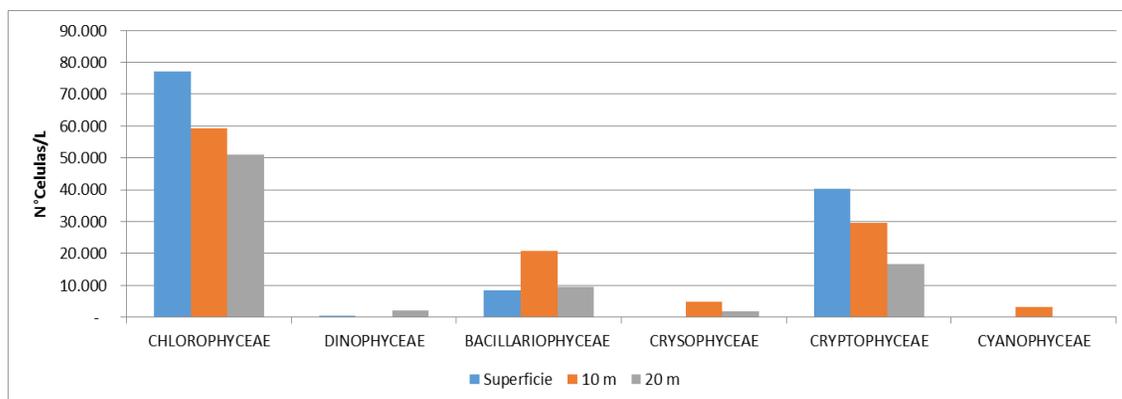


Figura 15. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014.

En la Tabla 17 y Figura 16, se observa que la clase más abundante en la campaña de Enero de 2015, corresponde a Bacillariophyceae, clase representada en mayor proporción por la especie *Discostella stelligera*, la cual se encontró de manera uniforme en la columna de el agua. La clase Cryptophyceae fue la mayormente representada en superficie, con una densidad celular superior a las 500.000 Cel/l. Es importante destacar la presencia de Cyanophyceae, la cual estuvo representada por *Anabaena*, principalmente presente a los 10 m de profundidad.

Tabla 17. Abundancia de especies estación LIT-Pucón, período enero de 2015.

LIT PUCON	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	1.800	0,2	2.000	0,2	2.500	0,3
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	0	0,0	0	0,0	17.301	1,8
<i>Cosmarium</i> sp.	100	0,0	0	0,0	100	0,0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	0	0,0	17.301	1,7	34.602	3,7
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	290.657	24,5	86.505	8,4	17.301	1,8
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	55.363	4,7	34.602	3,4	0	0,0

<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	200	0,0	0	0,0	1800	0,2
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	2.300	0,2	12.200	1,2	4.300	0,5
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	4.200	0,4	1.200	0,1	1.200	0,1
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	10.200	0,9	4.200	0,4	5.900	0,6
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustisima</i> (O.F.Müller) Simonsen	2.600	0,2	0	0,0	124.200	13,2
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	3600	0,3	0	0,0	231.840	24,6
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0,0	0	0,0	34.602	3,7
<i>Cymbella</i> sp.	0	0,0	0	0,0	17.301	1,8
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow)	69.204	5,8	155.709	15,1	173.010	18,4
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	700	0,1	200	0,0	100	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	47.000	4,0	120.000	11,7	38.000	4,0
<i>Fragilaria</i> sp.	0	0,0	7.200	0,7	2.400	0,3
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	0	0,0	200	0,0	200	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	0	0,0	69.204	7,3
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	0	0,0	0	0,0	900	0,1
<i>Navicula</i> sp.	13.841	1,2	0	0,0	17.301	1,8
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	69.204	5,8	103.806	10,1	51.903	5,5
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas</i> sp.	0	0,0	34602	3,4	0	0,0
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	13.841	1,2	34.602	3,4	0	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	595.156	50,2	207.612	20,2	0	0,0
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena aff circinalis</i> Rabenhorst	6.000	0,5	208.000	20,2	96.000	10,2
Abundancia total (cel L⁻¹)	1.185.966		1.029.940		941.966	

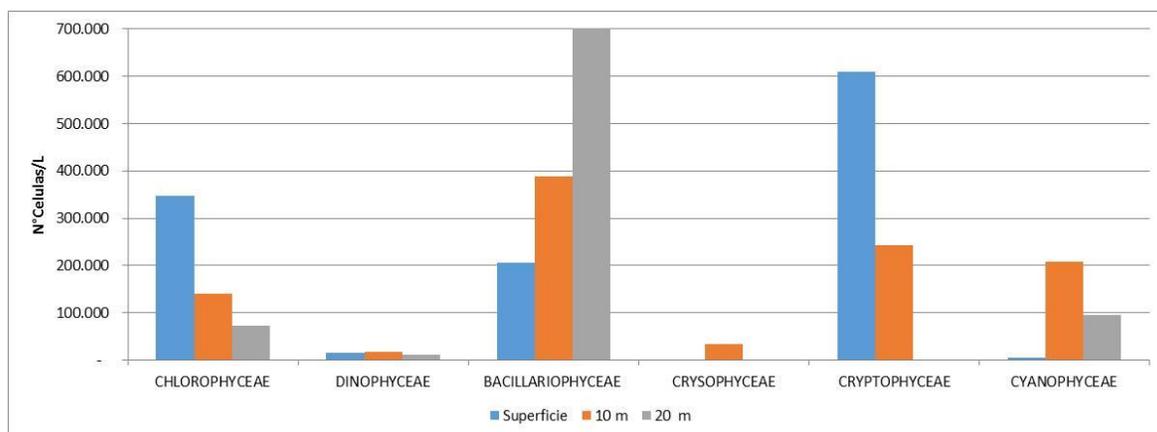


Figura 16. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015.

- MONITOREO DE *DIPLODON CHILENSIS*.

El monitoreo de *Diplodon chilensis*, fue realizado en esta área de vigilancia, en tres campañas de monitoreo, abril de 2013, marzo de 2014 y marzo de 2015. La metodología de análisis desarrollada para este muestreo se muestra en ANEXO 4 y consistió en un muestreo subacuático en el área Litoral hasta los 15 metros de profundidad. En cada punto de muestreo, se realizó la toma de 30 muestras para lo cual se lanza, de manera aleatoria, un core de 30 cm de longitud por 30 cm de ancho, extrayendo los individuos que se encuentran dentro de esta

superficie, los cuales son contabilizados en terreno. Los resultados promedio (Ind/m^2), se muestran en la Figura 17. Algunos individuos de las muestras, fueron llevadas a laboratorio para construir la curva de crecimiento de la especie en cada una de las capañas de muestreo, cuyos resultados de indican en las Figura 18, Figura 19 y Figura 20. Estos análisis permiten caracterizar la comunidad de *Diplodon chilensis*.

De los resultados se muestran en la Figura 17, se pudo observar que en 2013 y 2014 las densidades superaron los $220 \text{ Ind}/\text{m}^2$, mientras que el valor obtenido en 2015, fue de $122 \text{ Ind}/\text{m}^2$. Estos resultados al protocolo de muestreo, indican que la calidad del agua en esta estación, para los años 2014 y 2013, se encuentra en un rango clasificado como “malo”, mientras que en 2015 el rango estaría en “Menos que Regular”.

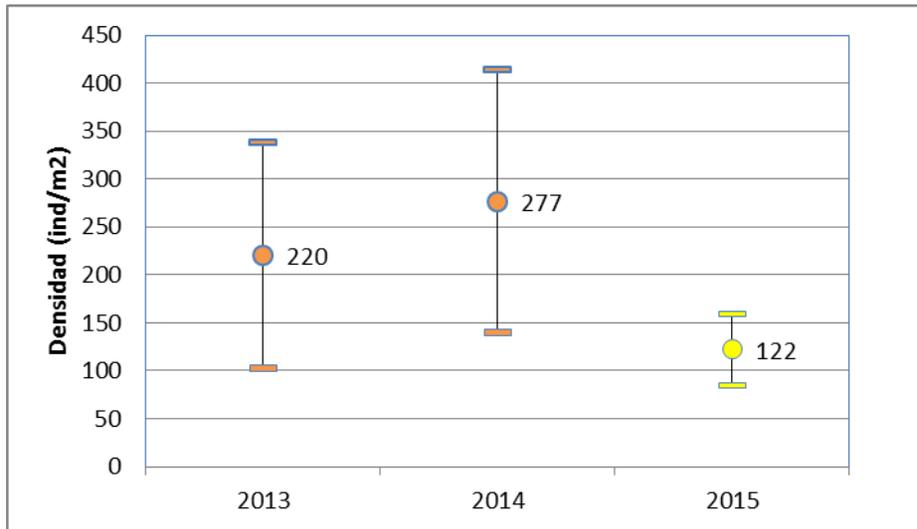


Figura 17. Densidad (Ind/m^2) \pm desviación estándar de *Diplodon chilensis* en Litoral Pucón en los años 2013, 2014 y 2015.

Las curvas de la relación longitud (mm) y peso húmedo total (g) de *Diplodon chilensis*, muestran que para todas estas campañas existe un ajuste al modelo potencial, con un coeficiente de correlación $R > 0,70$.

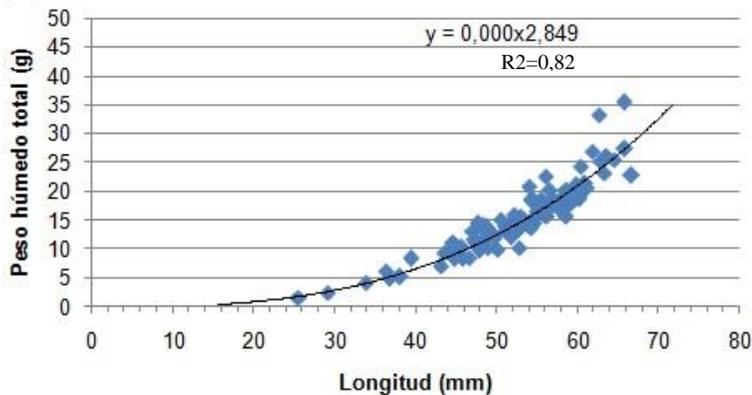


Figura 18. Relación longitud-peso de *Diplodon chilensis* del Litoral Pucón, mayo 2013.

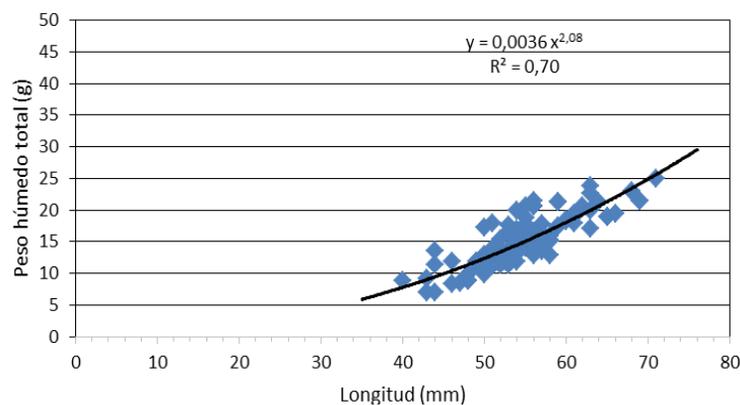


Figura 19. Relación longitud-peso de *Diplodon chilensis* del Litoral Pucón, Marzo de 2014.

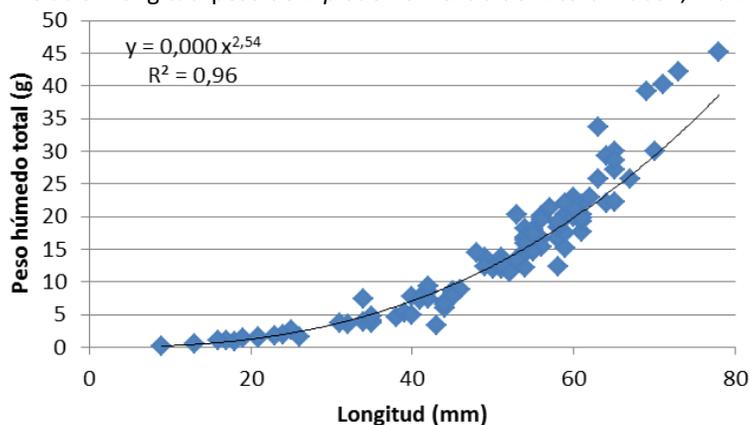


Figura 20. Relación longitud-peso de *Diplodon chilensis* del Litoral Pucón, Marzo de 2015.

A modo de análisis, se puede señalar, que en el Litoral Norte del lago Villarrica se observó que los especímenes tienen mayor biomasa corporal, a diferencia de los que habitan en el Litoral Pucón, cuya tendencia es crecer más en longitud que en peso -biomasa corporal.

5. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL NORTE

5.1 Características del área Litoral Norte

El área de vigilancia Litoral Norte (LIT-Norte) representa el sector de mayor extensión de las áreas Litorales del Lago. Este sector presenta una baja densidad poblacional, con grandes propietarios que concentran sectores de bosques nativo, bosque renoval y plantaciones forestales. Asimismo, esta área presenta elevaciones importantes que limitan la cuenca hidrográfica, por lo que no ocurren descargas importantes por escorrentía superficial. La Figura 21, muestra la ubicación de esta estación.

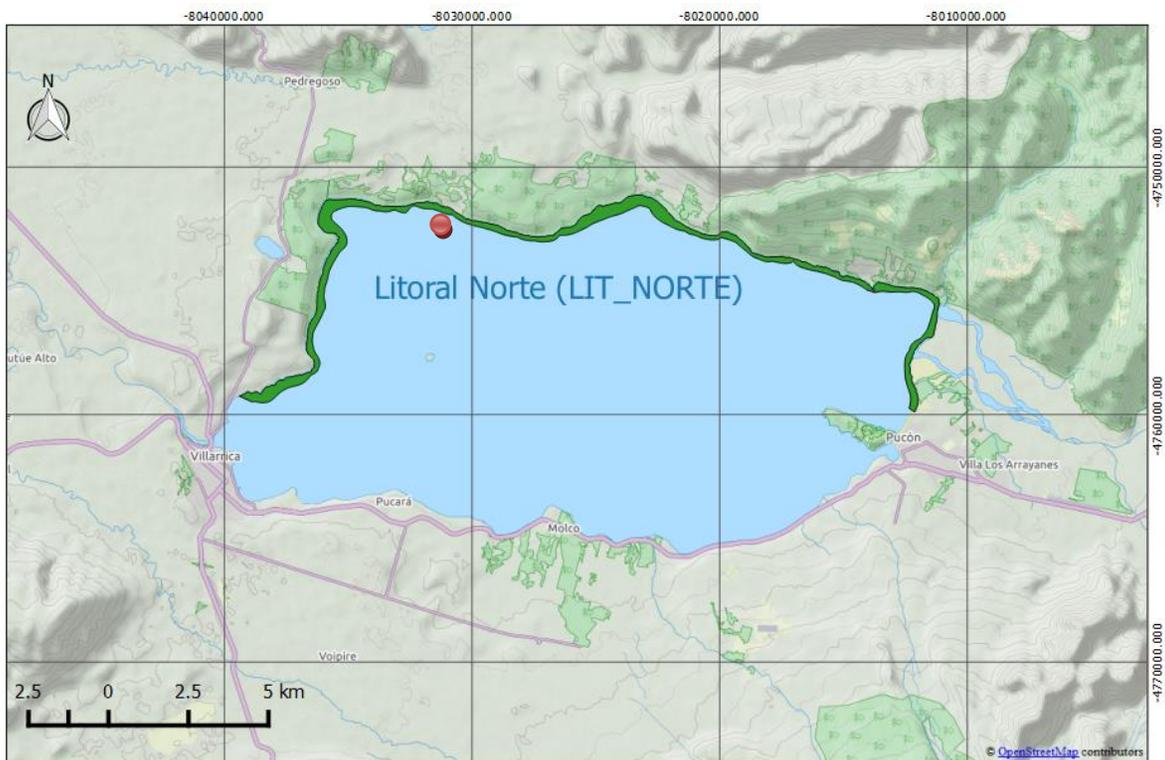


Figura 21. Representación del área de vigilancia Litoral Norte y su respectivo punto de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia

Esta estación, presenta monitoreos en todas las campañas realizadas, de acuerdo a lo señalado en la Tabla 18. Los resultados de la meteorología, dan cuenta de buenas condiciones de navegación que permitieron la toma de muestras, realizadas a 0, 10, 20, metros de profundidad.

Tabla 18. Parámetros meteorológicos estación LIT-NORTE.

Estación PELAGIAL	FECHA DE MUESTREO			
	13/11/2013	04-02-2014	06-10-2014	27-01-2015
Temperatura ambiental (°C)	14,4	17,9	14,9	27,7
Humedad relativa (%)	57,5	57,9	55,3	48,4
Velocidad del viento (m/s)	0,4	0,7	0,6	1,2
Estado del tiempo (octas)	Nublado (4/8)	Nublado (4/8)	Nublado (8/8)	Despejado
Presión Atmosférica (mbar)	1000	980	993	987

5.2 Parámetros fundamentales y determinación de índice de trofia Carlson

La Tabla 19 muestra los resultados de los parámetros fundamentales analizados en esta área de vigilancia. Los valores reportados corresponden a Transparencia, y Clorofila "a".

Tabla 19. Resultados de monitoreo de Cl "a", Transparencia y % Sat. Oxígeno área de vigilancia LIT-NORTE.

Fecha campaña	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Transparencia	Saturación Oxígeno (%)	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Clorofila "a"
13-11-2013	10	98,4	2,4
04-02-2014	7	108,8	2,9
06-10-2014	8,5	-	1,2
27-01-2015	10,5	111,3	14,9
Promedio Bianual	9,0	106,2	5,4
Max/min	7,0	98,4	14,9
Norma Promedio	≥7	-	≤5
Norma Min/Max	≥4	≥70	≤10

⁽¹⁾La metodología de cálculo del promedio ponderado de concentraciones aparece en el PMCCA del ANEXO 1.

⁽²⁾Promedio anual entre primavera 2013 y verano 2014 / primavera 2014 y verano 2015.

Supera Norma No se cumple 80% del límite normativo

En promedio, entre 2013 y 2015 se registró niveles por sobre el promedio anual establecido, a la vez que la concentración más alta de clorofila "a" medida fue mayor al nivel normado.

De acuerdo a la clasificación de trofía de Carlson por disco Secchi, 2 de las 4 campañas mostraron que la trofía se mantuvo en un nivel de oligotrofia y las dos campañas restantes, se mantuvieron en un nivel de Oligo-Mesotrofia. En el caso de la Clorofila "a", el año 2013 y 2014 los valores se encuentran en niveles de mesotrofia, siendo el año 2015 el que registra la peor condición, es decir nivel eutrófico.

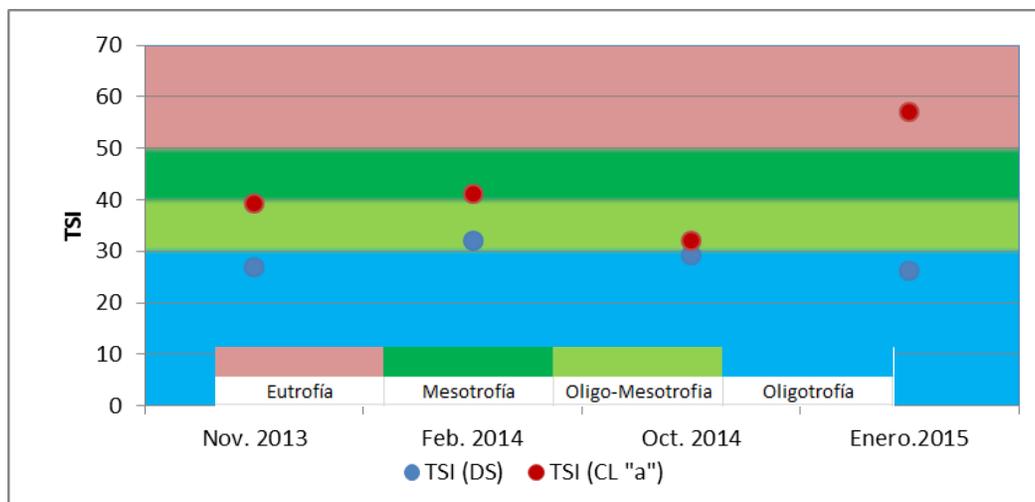


Figura 22. Índice de Carlson aplicado al área Lit-Norte.

5.3 Parámetros de Intervención antrópica.

En el caso de la Matriz acuosa del área Lit-Pucón, se consideró el monitoreo de los Hidrocarburos Totales (HCT), DQO, DBO y Sílice en tres profundidades (superficial, 10 y 20 metros). Respecto de los resultados de HCT, se puede observar que los valores obtenidos se encuentran por bajo el Límite de Detección para este parámetro, al igual que el parámetro DBO₅.

Tabla 20. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral NORTE en matriz acuosa, según mediciones realizadas por DIRECTEMAR en 3 campañas de monitoreo realizadas.

Parámetros	Unidad	Profundidad (m)	13/11/2013	04/02/2014	30/10/2014	27/01/2015
DBO₅ (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<2	<2	<2
		10	-	<2	<2	<2
		20	-	<2	3	<2
DQO (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	-	2	10	66
		1,5	-	2	5	62
		2,5	-	2	10	58
HCT (LD= 5 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<5	<2,5	<5
		10	-	0	-	-
		20	-	0	-	-
SILICE (LD=0.1 mg/L)	mg/ L	0,5	-	20	18	29
		10	-	17	11	13
		20	-	18	17	13

En la Figura 23A, se muestra la tendencia de aumento en las concentraciones de DQO y en la Figura 23B, se muestra un leve descenso de las concentraciones en los 20 metros de profundidad, as como un aumento de las concentraciones a nivel superficial.

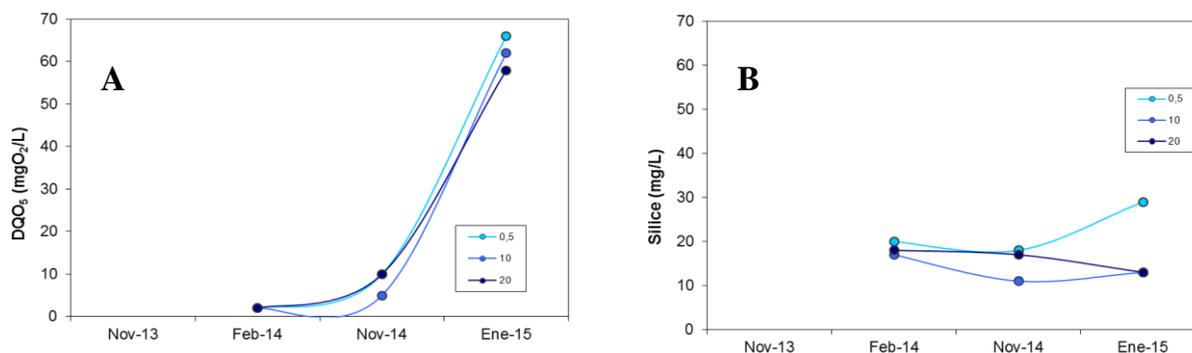


Figura 23. Representación gráfica de los resultados de A) DQO (mg/l) y B) Sílice (mg/l).

La Tabla 21, muestra los resultados obtenidos para la matriz sedimentos de acuerdo a lo establecido por el programa de vigilancia. Las concentraciones de metales pesados analizados Cd, Pb, Hg resultaron por debajo del Límite de Detección, siendo detectados Cu y As.

Tabla 21. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral NORTE en sedimentos según mediciones realizadas por DIRECTEMAR.

Red de Observación - Matriz sedimentaria					
Parámetros	Unidad	05-02-2014	10-11-2014	26-01-2015	
Cadmio	mg/Kg	<0,1	<0,1	<0,1	
Cobre	mg/Kg	13	23	14	
Plomo	mg/Kg	<0,5	1,1	<0,5	
Arsénico	mg/Kg	4,29	-	0,28	
Mercurio	mg/Kg	<0,01	-	<0,01	
Hidrocarburos Totales	mg/Kg	<10	<10	<10	
Materia Orgánica	%	1,9	2,5	0,3	
COT	g/Kg	21.088			
COT	%	-	0,2	1,62	
NTK	mg/Kg	496	498	735	
Fósforo Total	mg/Kg	0,3	68	107	
Granulometría (% Retención)	Micrones	Clasificación (% retención)			
	2000	Arena muy gruesa	14,2	1,28	1,48
	1000	Arena gruesa	12,4	6,96	3,09
	500	Arena media	17,5	21	15,7
	250	Arena fina	20,5	16,9	30,7
	125	Arena muy fina	17,7	20,3	24
	63	Limo grueso	17	14,3	18,2

La matriz sedimentos, presenta características texturales principalmente de arena fina (20,5 %) y en menor cantidad, de arena gruesa (12,40%).

5.4 Parámetros de condición natural.

Los parámetros de condición natural en Lit-Norte, incorporan mediciones de pH, turbidez (NTU), oxígeno Disuelto (mg/l), cuyos resultados de las campañas Noviembre de 2013, Febrero de 2014, Octubre de 2014 y Enero de 2015, se muestran en la Tabla 22.

Asimismo, los perfiles de Temperatura, Oxígeno Disuelto y Clorofila "a" se informan en las Figura 24 A y B y 4 A y B, corresponden al mes de Noviembre de 2014.

A partir de la información de la Figura 24 A, se observa un descenso de la temperatura en la zona Lit-Norte, desde los 11,25 °C en superficie hasta los 10,5 °C en los 25 m de profundidad. La Figura 25, muestra el perfil de Clorofila "a", en donde se observa que las mayores concentraciones se registran a los 7 metros de profundidad.

Tabla 22. Resultados parámetros pH, Turbiedad y Oxígeno disuelto LIT-NORTE.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
pH	Unid. pH	0	8,15	8,77	7,75	8,34
		10	7,75	9,14	7,71	8,47
		20	7,62	8,64	7,45	8,25
Turbiedad	NTU	0	0,0	-	-	1,0
		10	0,4	-	-	1,6
		20	0,0	-	-	1,4
Oxígeno Disuelto	(mg/l)	0	10,40	9,70	-	9,55
		10	10,41	10,25	-	10,76
		20	10,32	9,19	-	10,45

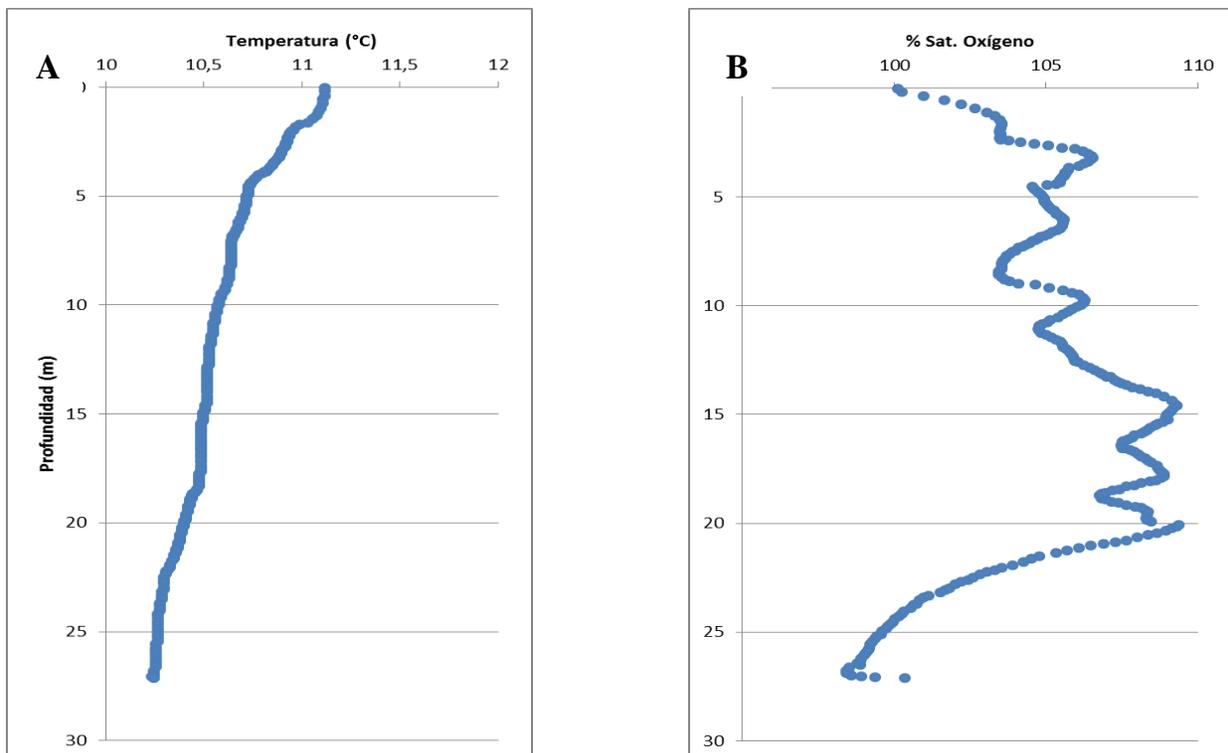


Figura 24. Perfiles obtenidos a través de CTD estación LIT-NORTE en octubre de 2014. A) Perfil de temperatura; B) % Sat. Oxígeno.

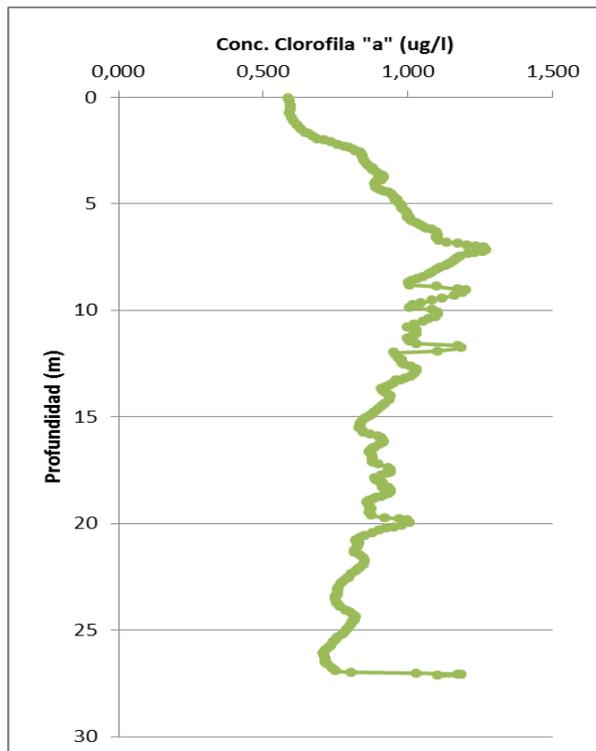


Figura 25. Perfil de Clorofila "a", obtenido en LIT-NORTE, Octubre de 2014 por la DGA.

5.5 Resultados de bioindicadores área LIT-Norte

- FITOPLANCTON (AB. Y COMP., CEL/ML)

De acuerdo a lo establecido en el PMCCA, fueron realizadas las mediciones de las comunidades fitoplanctónicas del área LIT-NORTE en las profundidades de 0, 10, 20 m. A continuación se presenta la información de la comunidad fitoplactónica realizada en las fechas Noviembre de 2013, Febrero de 2014, Octubre de 2014 y Enero de 2015. Las primeras dos mediciones, fueron realizadas por la DGA, a través del centro EULA de la Universidad de Concepción, mientras que las dos siguientes, fueron desarrolladas por la Universidad Austral de Chile. En todas las mediciones, se consideró un total de 3 profundidades, de acuerdo a lo establecido en el Programa de vigilancia.

De la Tabla 23 y Figura 26, se observa que la clase más abundante en esta estación en la campaña de noviembre de 2013, corresponde a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton resultó ser la más abundante en toda la columna de agua superando el 70% respecto del total de especies.

Tabla 23. Abundancia de especies estación LIT-Norte, período Noviembre de 2013.

Lago Villarica, Litoral Norte	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	42.483	27,24	30.821	13,24	47.648	26,56
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	500	0,32	500	0,21	2.166	1,21
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	111.622	71,58	195.755	84,11	128.282	71,49
<i>Melosira varians</i> C.Agardh			833	0,36		
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	167	0,11	333	0,14	333	0,19
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	833	0,53	1.666	0,72	666	0,37
CHLOROPHYCEAE						
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood	333	0,21	333	0,14	333	0,19
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> West (Fil/L)			2.499	1,07		
TOTAL	155.938	100	232.740	100	179.428	100

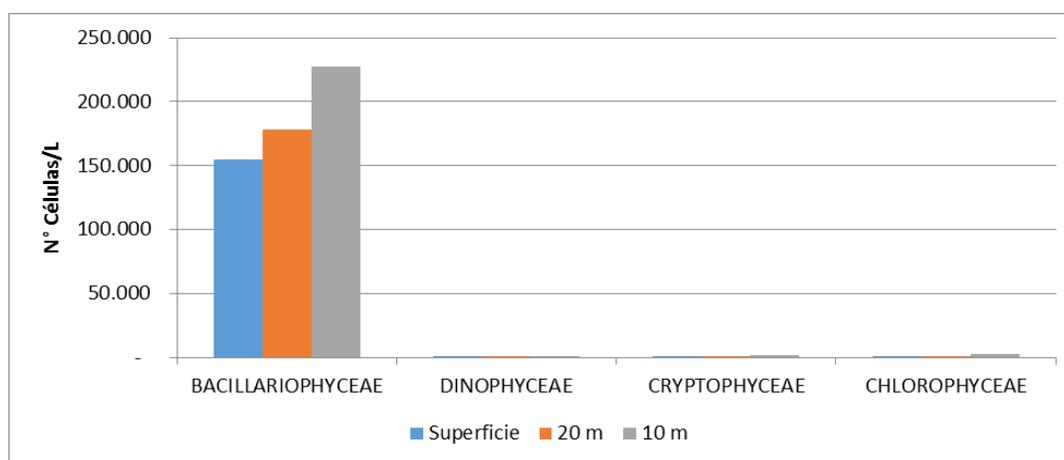


Figura 26. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Noviembre del 2013.

En la Tabla 24 y Figura 27, se observa que la clase más abundante en esta estación correspondiente a la campaña estival de Febrero de 2014, corresponde a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton resultó ser la con mayor abundancia en toda la columna de agua superando el 76% de dominancia en superficie. Aparecen las Dinofíceas, representadas por la especie *Ceratium hirundinella*.

Tabla 24. Abundancia de especies estación LIT-Norte, período Febrero de 2014.

Lago Villarica, LIT NORTE	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	555	1,3	3.332	9,6	4.665	10,5
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen	1.110	2,7				
Otras diatomeas penadas	111	0,3				
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen			1.333	3,8	666	1,5
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson			167	0,5	167	0,4
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	31.746	76,5	13.328	38,3	20.992	47,4
<i>Melosira hustedtii</i> G.Krasske			833	2,4		
<i>Achnanthes</i> sp.					167	0,4
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg					333	0,8
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing					167	0,4
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot					167	0,4
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J.B.Petersen					167	0,4
<i>Fragilaria</i> sp.					3.332	7,5
<i>Navicula</i> sp.					167	0,4
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn (Fil/L)	333	0,8	833	2,4	167	0,4
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg			6.664	19,1	3.499	7,9
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg			666	1,9	167	0,4
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	6.771	16,3	7.330	21,1	7.830	17,7
<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg			167	0,5		
XANTHOPHYCEAE						
<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson (Fil/L)	333	0,8	167	0,5	833	1,9
CHLOROPHYCEAE						
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat (Col/L)	111	0,3				
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	444	1,1				
<i>Nephrocystium agardhianum</i> Nägeli					666	1,5
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat (Fil/L)					167	0,4
TOTAL	41.514	100	34.819	100	44.316	100

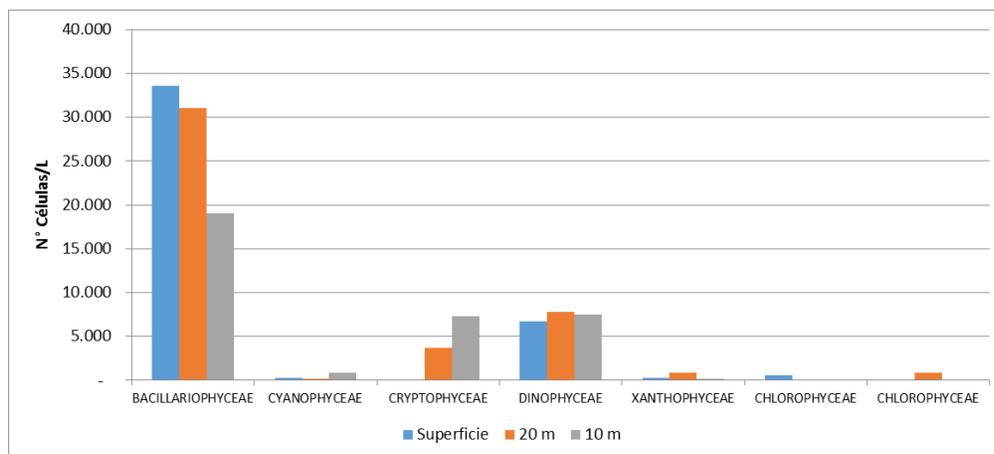


Figura 27. Abundancias por clases para cada una de las profundidades en febrero del 2014 para LIT Norte.

De la Tabla 25 y Figura 28 se observa que las clases más abundantes en esta estación en Octubre de 2014, corresponden a Clase Chlorophyceae y Cryptophyceae, con mayores abundancias a nivel superficial. La especie con mayor dominancia corresponde a *Kirchneriella lunaris*. En esta campaña aparece además la clase Cyanophyceae, representada por los géneros *Anabaena* y *Oscillatoria*.

Tabla 25. Abundancia de especies estación LIT-Norte, período Octubre de 2014.

LIT PUCON	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	240	0,2	360	0,3	140	0,2
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	11.534	9,1	9886	8,4	1504	1,9
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	17.301	13,7	42017	35,7	45133	55,7
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	5.767	4,6	2472	2,1	1504	1,9
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	320	0,3	0	0,0	0	0,0
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	40.369	32,0	2472	2,1	1504	1,9
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chordat	1.600	1,3	960	0,8	1280	1,6
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W.West	0	0,0	800	0,7	0	0,0
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	0	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Ulothrix</i> sp.	0	0,0	240	0,2	0	0,0
<i>Zygnema</i> sp.	80	0,1	0	0,0	0	0,0
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	0	0,0	60	0,1	40	0,0
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	0	0,0	20	0,0	2100	2,6
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	320	0,3	0	0,0	0	0,0
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	40	0,0	3120	2,7	4930	6,1
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0,0	360	0,3	420	0,5
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	0	0,0	20	0,0	0	0,0
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	0	0,0	20	0,0	1504	1,9
<i>Cymbella</i> sp.	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	40	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	0	0,0	1620	1,4	400	0,5
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	1.680	1,3	960	0,8	300	0,4
<i>Fragilaria</i> sp1.	80	0,1	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	280	0,2	280	0,2	20	0,0
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	0	0,0	60	0,1	0	0,0
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	0	0,0	120	0,1	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	9886	8,4	1504	1,9
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	0	0,0	1120	1,0	360	0,4
<i>Navicula aff radiosa</i> Kützing	0	0,0	160	0,1	0	0,0
<i>Navicula</i> sp.	5767	4,6	0	0,0	0	0,0
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	0	0,0	2472	2,1	0	0,0
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	0	0,0	20	0,0	0	0,0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	240	0,2	440	0,4	0	0,0
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas</i> sp.	0	0,0	4943	4,2	1764	2,2
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	5767	4,6	0	0,0	1504	1,9
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	0	0,0	2472	2,1	0	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	34.602	27,4	27187	23,1	15044	18,6
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena</i> sp.	0	0,0	600	0,5	0	0,0
<i>Oscillatoria aff planctonica</i> Woloszynska	0	0,0	2472	2,1	0	0,0
Abundancia total (cel L⁻¹)	126.187	100	117.618	100	80.999	100

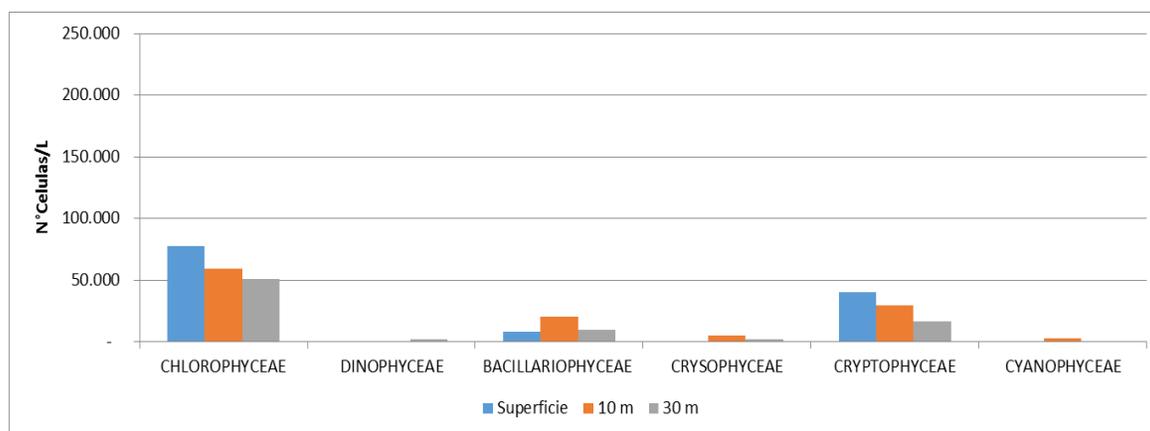


Figura 28. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para LIT Norte.

En la Tabla 26 y Figura 29 se observa que en Enero 2015, la comunidad fitoplactónica presentó una mayor heterogeneidad respecto a las campañas anteriores, siendo la familia Bacillariophyceae, la mayormente representada por especies como *Discostella stelligera* y *Fragilaria crotonensis*.

En esta campaña estival aparecen las Clases Chrysophyceae y Chlorophyceae, con mayores abundancias a los 10 m de profundidad. Al igual que en la campaña de Octubre de 2014, se reportan organismos de la clase Cyanophyceae, representada por el género *Anabaena* el cual se encontró bien representada hasta 10 m de profundidad del lago.

Tabla 26. Abundancia de especies estación LIT-Pucón, período enero de 2015.

LIT Norte	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	0	0,0	1200	0,1	0	0,0
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	0	0,0	8651	0,8	0	0,0
<i>Closterium sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Cosmarium sp.</i>	100	0,0	100	0,0	400	0,1
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	1200	0,5	0	0,0	0	0,0
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	9886	4,1	34602	3,3	8651	1,6
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	14.829	6,1	112.457	10,7	0	0,0
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat	0	0,0	155709	14,8	0	0,0
<i>Sphaeroszma aubertianum</i> W.West	0	0,0	7800	0,7	0	0,0
<i>Spirogyra sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	200	0,1	150	0,0	1500	0,3
<i>Ulothrix sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	2300	0,9	11000	1,0	5250	1,0
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	1400	0,6	1800	0,2	2150	0,4
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	2400	1,0	3600	0,3	6000	1,1
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Achnanthes spp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Amphipleura sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Amphora sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Aulacoseira granulata var angustisima</i> (O.F.Müller) Simonsen	20700	8,5	27600	2,6	75900	14,2
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	25200	10,4	50400	4,8	191.520	35,8
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	0	0,0

<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	4943	2,0	0	0,0	8651	1,6
<i>Cymbella</i> sp.	50	0,0	100	0,0	350	0,1
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	14.829	6,1	103.806	9,9	51.903	9,7
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	50	0,0	0	0,0	100	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	26.000	10,7	51.000	4,9	84.000	15,7
<i>Fragilaria</i> sp.	600	0,2	600	0,1	1.500	0,3
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	0	0,0	100	0,0	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	4.943	2,0	17.301	1,6	17.301	3,2
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	500	0,2	0	0,0	1.800	0,3
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	4.943	2,0	0	0,0	0	0,0
<i>Navicula</i> sp.	100	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller	0	0,0	250	0,0	0	0,0
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	4.943	2,0	8.651	0,8	8.651	1,6
CRYSOPHYCEAE						
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Mallomonas</i> sp.	0	0,0	242.215	23,0	0	0,0
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	4943	2,0	8651	0,8	17.301	3,2
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	59.318	24,4	155.709	14,8	51.903	9,7
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena aff circinalis</i> Rabenhorst	38.400	15,8	48.000	4,6	0	0,0
Abundancia total (cel L⁻¹)	242.779		1.051.451		534.830	

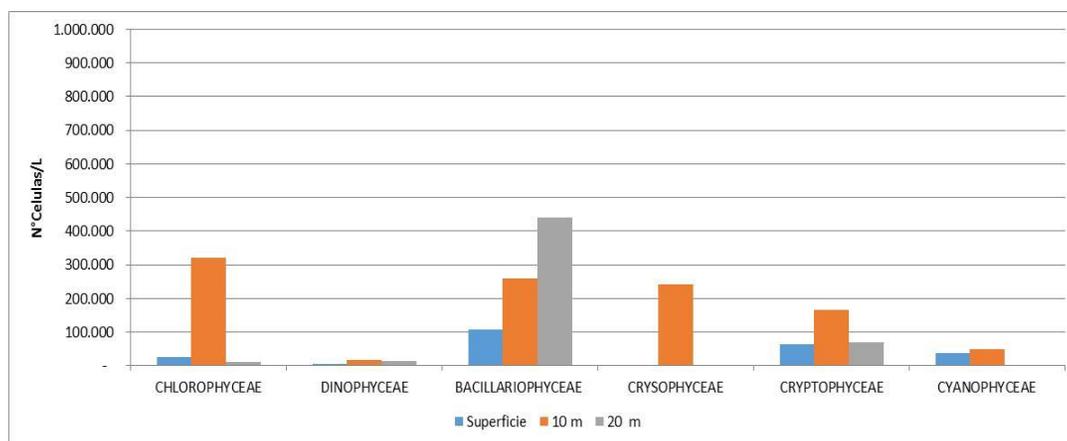


Figura 29. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015.

- MONITOREO DE *DIPLODON CHILENSIS*.

El monitoreo de *Diplodon chilensis*, fue realizado en esta área de vigilancia, en tres campañas de monitoreo, Marzo de 2013, Marzo de 2014 y Marzo de 2015. Los resultados de densidad (Ind/m²), para el área de vigilancia Litoral Norte se muestran en la figura a continuación. El año 2013, se registró una densidad de 72,3 ± 36,4 (Ind/m²), lo cual dejó de manifiesto una calidad del agua "Regular". Los años 2014 y 2015 registraron densidades elevadas, de 313 y 168 Ind/m², lo cual ubica a esta estación como de calidad "Mala" y "Regular" respectivamente.

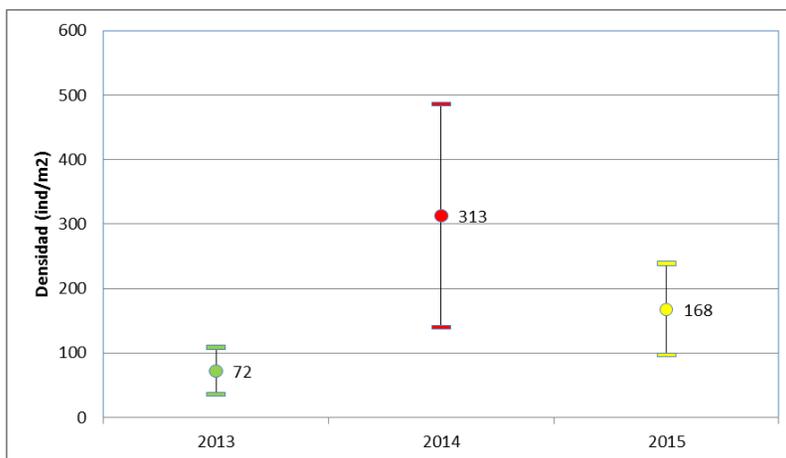


Figura 30. Densidad (Ind/m²) ± desviación estándar de *Diplodon chilensis* en Litoral Norte en los años 2013, 2014 y 2015.

Las curvas de la relación longitud (mm) y peso húmedo total (g) de *Diplodon chilensis*, se muestran en las figuras a continuación para las campañas de Mayo de 2013, Marzo 2014 y Marzo de 2015 en la estación LIT-Norte. Para todas estas campañas, el análisis indica que existe un ajuste al modelo potencial, con un coeficiente de correlación $R > 0,79$.

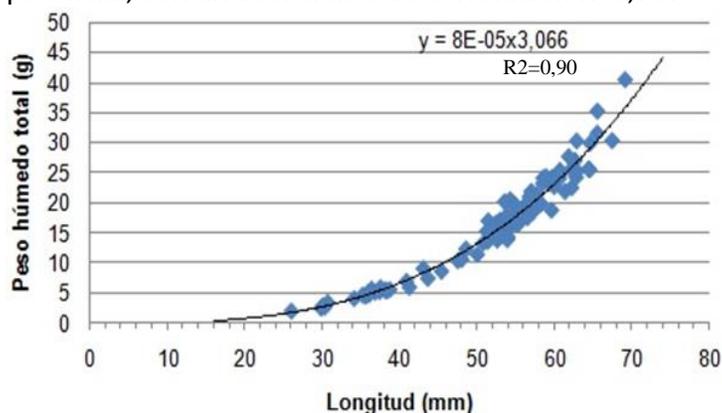


Figura 31. Relación longitud-peso de *Diplodon chilensis* del Litoral Norte, mayo 2013.

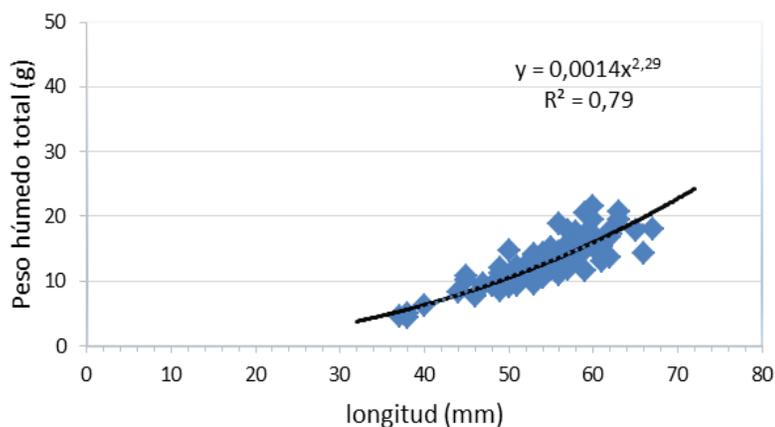


Figura 32. Relación longitud-peso de *Diplodon chilensis* del Litoral Norte, Marzo de 2014.

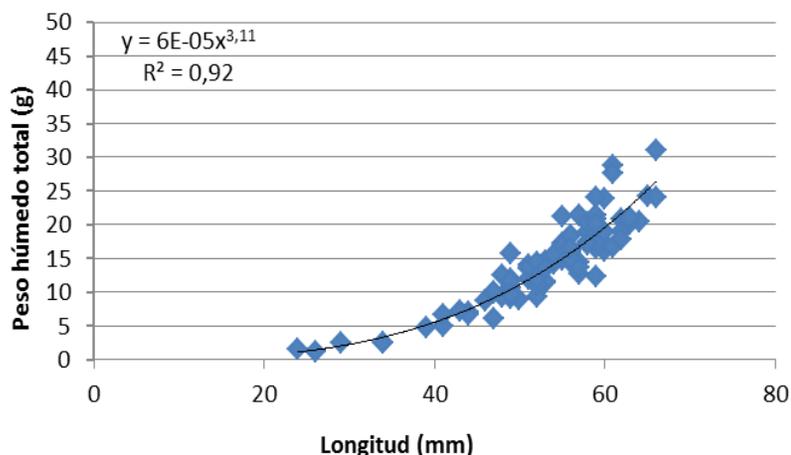


Figura 33. Relación longitud-peso de *Diplodon chilensis* del Litoral Norte, Marzo de 2015.

- MONITOREO DE MACRÓFITOS BIOINDICADORES DE TROFÍA.

El uso de macrófitos como bioindicador de calidad del agua en esta área de vigilancia considero dos puntos de muestreo que se ubicaron en las estaciones indicadas en la Figura 34. La captura de datos se realizó a través del levantamiento de parcelas de 1 m². El número de réplicas estuvo supeditado a las condiciones topográficas que presentó cada estación de muestreo y en particular a la presencia y abundancia de vegetación macrofítica. La metodología de muestreo y su análisis se muestra en el Anexo 3.

En cada parcela se registró la totalidad de especies de plantas vasculares y se estimó la abundancia de cada una de ellas a través de su cobertura expresada en porcentaje del área cubierta (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974). En el procedimiento anterior fue necesario llegar a la resolución taxonómica más baja, es decir, a nivel de especie, ya que para trabajar con las metodologías señaladas más adelante se debe tener plena claridad de la identidad de los taxa registrados.

A cada una de las especies registradas en el trabajo de campo se les asignaron valores indicadores según su tolerancia al factor Nitrógeno, de acuerdo a la valoración propuesta por Ellenberg (1974), Ramírez et al. (1991) y Pignatti (2005) y que son detallados en en Anexo 3. Posteriormente, dicho valor indicador fue multiplicado por la abundancia de cada especie, esto permitió obtener una sumatoria de todas las ponderaciones hechas, lo cual es finalmente dividido por la abundancia total de las especies presentes en cada estación de muestreo. (Ver Ecuaciones 1 y 2).

$$(Vi) \text{ Riqueza} = \frac{\sum Vi}{N^{\circ} \text{ Especies}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$(Vi) \text{ Ab.} = \frac{\sum (Ab * Vi)}{\sum Ab. \text{ Total Especies}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- Vi= Valor Indicador.

- *Ab. Abundancia de especies.*

Con este método se puede obtener un valor indicador considerando la riqueza de especies por un lado y la abundancia de las mismas por otro. Los valores indicadores asignados a cada especie varían entre 1 y 9; y se muestran en el Anexo 3 ya indicado.



Figura 34. Muestreo de macrófitos bioindicadores en dos puntos del sector Litoral Norte.

Por su parte, la segunda aproximación utilizada corresponde al Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitos (ITFM). Este índice es de resolución taxonómica baja (nivel de especie), de carácter cuantitativo y se basa en la presencia, abundancia y capacidad indicadora de contaminación orgánica de 75 especies de plantas vasculares. Los valores del índice se mueven entre 0 y 100; y los tramos monitoreados pueden ser categorizados en tres niveles de trofía. Cabe señalar que las especies de macrófitos que no se registraron en el listado de 75 plantas que considera este índice, fueron evaluadas a través de criterio de experto. Cada especie fue incluida en alguna categoría de tolerancia a la trofía y el valor del índice para cada estación se calculó según la Ec.3:

$$ITFM = -25 * \left(\text{Log}_2 \left(\frac{\sum N \text{ ETA}}{\sum N \text{ ETB} + \sum N \text{ ETM}} \right) \right) + 50 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- $\sum N$ = Sumatoria de la abundancia relativa (cobertura)
- ETB= Especies indicadoras de tolerancia baja a la contaminación orgánica

- *ETM= Especies indicadoras de tolerancia media a la contaminación orgánica*
- *ETA= Especies indicadoras de tolerancia alta a la contaminación orgánica*

Luego de resolver la fórmula anterior, el valor obtenido se cotejó de acuerdo a la tabla 2, del ANEXO N°3, para definir así el nivel de trofía de cada estación.

Los resultados de trofía a partir de macrófitos en esta área de vigilancia se indican en la Tabla 27. Los resultados obtenidos con los dos métodos de cálculo fueron consistentes obteniéndose que sector de Borde Aliso presentó una categoría de trofía Media, mientras que sector La Esperanza presentó una categoría de trofía Baja.

Tabla 27. Niveles de trofía de las estaciones de muestreo del lago Villarrica, según la metodología de San Martín et al. (2003) y metodología de ITFM (2015), propuesta por UCT.

Estación	Nivel de trofía de acuerdo a San Martín (2003)			Nivel de trofía de acuerdo a ITFM (UCT, 2014)	
	Riqueza	Abundancia		-	
Borde Aliso	Medio	Medio		Medio	
La Esperanza	Bajo	Bajo		Bajo	

6. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL VILLARRICA

6.1 Características del área Litoral Villarrica.

El área de vigilancia del sector litoral bahía Villarrica (LIT-Villarrica) representa un área influenciada por la zona urbana de la ciudad de Villarrica. De acuerdo a esto, su delimitación va frente al km 1,6 de la Ruta S-69, hasta sector de condominio la puntilla de Villarrica. Esta delimitación fue definida en base a las descargas provenientes de la zona urbana, lo cual permite reflejar además descargas de tipo difuso provenientes de la ciudad.

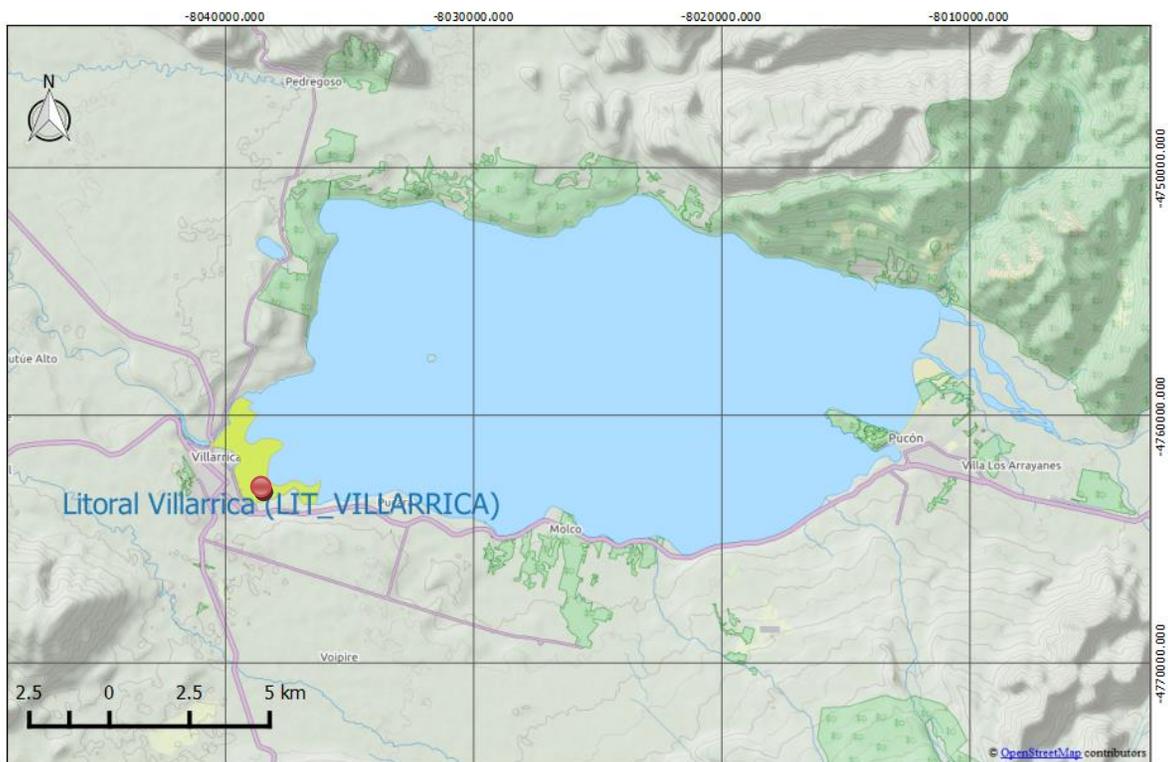


Figura 35. Representación del área de vigilancia Litoral Villarrica y su respectivo punto de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo establecido en el PMCCA, esta área, presentó monitoreos en todas las campañas realizadas según se muestra en la Tabla 28, Las muestras de agua en esta área fueron realizadas a 0, 10 y 20 metros de profundidad.

Tabla 28. Parámetros meteorológicos estación LIT-VILLARRICA.

Estación PELAGIAL	FECHA DE MUESTREO			
	13/11/2013	04-02-2014	06-10-2014	27-01-2015
Temperatura ambiental (°C)	16,8	23,0	13,7	20,1
Humedad relativa (%)	54,6	39,9	71,8	62,9
Velocidad del viento (m/s)	0,6	0,4	1,0	**
Estado del tiempo (octas)	Nublado (5/8)	Nublado (8/8)	Nublado (8/8)	Nublado (7/8)
Presión Atmosférica (mbar)	1000	990	994	990

6.2 Parámetros fundamentales y determinación de índice de trofía Carlson

La Tabla 29 muestra los resultados de los parámetros fundamentales analizados en esta área de vigilancia. Los valores reportados corresponden a Transparencia, Clorofila "a" y % Sat. Oxígeno.

Tabla 29. Resultados de monitoreo de Cl "a", Transparencia y % Sat. Oxígeno, área de vigilancia LIT-Villarrica.

Fecha campaña	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Transparencia	Saturación Oxígeno (%)	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Clorofila "a"
13-11-2013	8,1	103,6	2,4
04-02-2014	5,6	108,1	4,1
06-10-2014	9,6	-	1,1
27-01-2015	8,1	110,5	17,6
Promedio Bianual	7,8	107,4	6,3
Max/min	5,6	103,6	17,6
Norma Promedio	≥7	-	≤5
Norma Min/Max	≥4	≥70	≤10

⁽¹⁾La metodología de cálculo del promedio ponderado de concentraciones aparece en el PMCCA del ANEXO 1.

⁽²⁾Promedio anual entre primavera 2013 y verano 2014 / primavera 2014 y verano 2015.

Supera Norma
 No se cumple 80% del límite normativo

De la Tabla 29, se puede observar que el valor promedio de Transparencia se presentó en un rango de (< 120 % de la norma). En el caso de Clorofila "a", el valor promedio se resultó por sobre el promedio anual establecido, siendo además el valor máximo superior al valor de la Norma.

De acuerdo con la clasificación de trofía de Carlson, en las campañas de 2013 y 2014 los valores de TSI para disco Secchi y Clorofila "a" mostraron que la trofía se mantiene en niveles oligo y mesotrofia. La campaña de Octubre de 2014 mostró los mejores resultados manteniendo niveles de oligo y oligo-meso trofía. El año 2015, registró Clorofila "a" en nivel eutrófico.

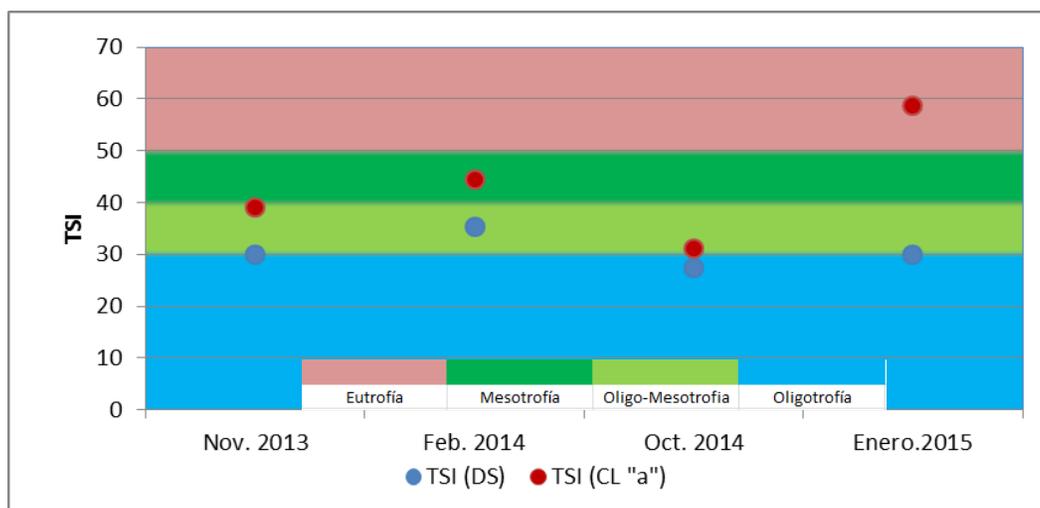


Figura 36. Índice de Carlson aplicado al área Lit-Villarrica en el lago Villarrica

6.3 Parámetros de Intervención antrópica.

Para el caso del área Litoral Villarrica, se consideró el monitoreo de los Hidrocarburos Totales, DQO, DBO y Sílice en tres profundidades (superficial, 10 y 20 metros). Respecto a los resultados de HCT, de la Tabla 30 se puede observar que los valores obtenidos se encuentran por bajo el Límite de detección para este parámetro, al igual que el parámetro DBO₅.

Tabla 30. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Villarrica en matriz acuosa, según mediciones realizadas por DIRECTEMAR en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Parámetros	Unidad	Profundidad (m)	13/11/2013	04/02/2014	30/10/2014	27/01/2015
DBO₅ (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<2	2	2
		10	-	<2	2	2
		20	-	<2	<2	2
DQO (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<2	8	22
		1,5	-	<2	9	21
		2,5	-	<2	6	28
HCT (LD= 5 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<5	<2,5	<5
		10	-	0	-	-
		20	-	0	-	-
SÍLICE (LD=0.1 mg/L)	mg/ L	0,5	-	19	9,4	22
		10	-	18	14	22
		20	-	16	18	22

En la Figura 37 A, se muestra la tendencia en aumento de las concentraciones de DQO y en la Figura 37B, se muestra el aumento experimentado por el Sílice en las campañas de muestreo realizadas.

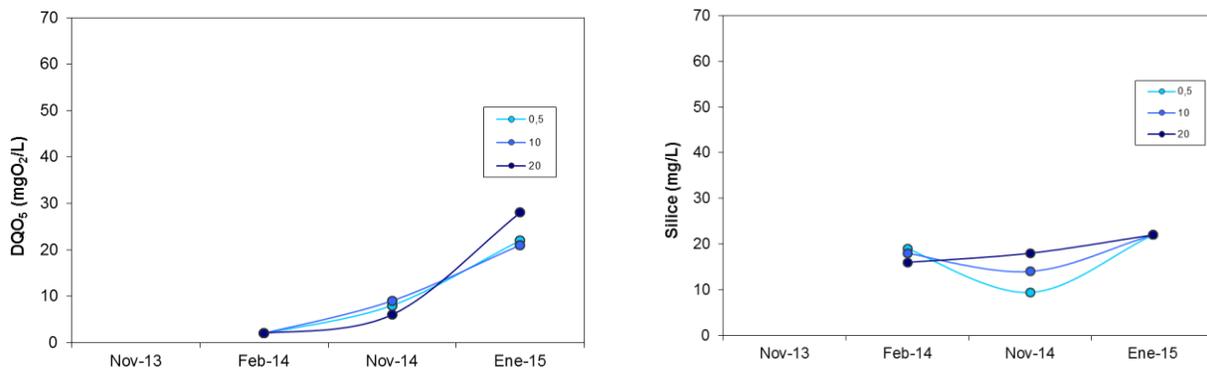


Figura 37. Representación gráfica de los resultados de A) DQO (mg/l) y B) Sílice (mg/l).

La Tabla 31 muestra los resultados obtenidos para la matriz sedimentos de acuerdo a lo establecido por el programa de vigilancia. Las concentraciones de metales pesados analizados como Cd, Pb, Hg resultaron por debajo del Límite de detección, siendo detectados solo Cu y As.

Tabla 31. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Villarrica en sedimentos según mediciones realizadas por DIRECTEMAR.

Parámetros	Unidad	Red de Observación - Matriz sedimentaria			
		05-02-2014	10-11-2014	26-01-2015	
Cadmio	mg/Kg	<0,1	<0,1	-	
Cobre	mg/Kg	23	10	-	
Plomo	mg/Kg	2,4	3,4	-	
Arsénico	mg/Kg	6,08		-	
Mercurio	mg/Kg	<0,01		-	
Hidrocarburos Totales	mg/Kg	<25	<10	-	
Materia Orgánica	%	4	1,2	-	
COT	g/Kg	82.527		-	
COT	%		0,4	-	
NTK	mg/Kg	1.823	292	-	
Fósforo Total	mg/Kg	16	28	-	
Granulometría (% Retención)	Micrones	Clasificación (% retención)			
	2000	Arena muy gruesa	0,2	0	-
	1000	Arena gruesa	0,25	0,04	-
	500	Arena media	0,54	0,07	-
	250	Arena fina	1,55	3,06	-
	125	Arena muy fina	11,1	59,5	-
	63	Limo grueso	38,1	34,1	-

La matriz sedimentaria, presenta características texturales de principalmente limo grueso (38,1 %) y en menor cantidad, arena muy gruesa (0,2%).

6.4 Parámetros de condición natural.

Los parámetros de condición natural en Lit-Villarrica, incorporan mediciones de pH, turbidez (NTU), oxígeno Disuelto (mg/l), cuyos resultados de las campañas Noviembre de 2013, Febrero de 2014, Octubre de 2014 y Enero de 2015, se muestran en la Tabla 32. Asimismo, los perfiles de Temperatura, oxígeno Disuelto y Clorofila "a" de la campaña de Octubre de 2014 se informan en las figuras Figura 38 A y B y la figura Figura 39 la muestra el perfil de Clorofila "a", en el cual se puede observar que las concentraciones se incrementan desde la superficie hasta los 13 metros de profundidad (4,78 ug/l), para luego disminuir a mayor profundidad.

Tabla 32. Resultados parámetros pH, Turbiedad y Oxígeno disuelto LIT-Villarrica.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
pH	Unid. pH	0	8,10	9,27	7,68	8,79
		10	7,83	9,39	7,69	8,84
		20	7,45	8,26	7,50	8,68
Turbiedad	NTU	0	0	-	-	1,1
		10	0	-	-	1,4
		20	0	-	-	2,3
Oxígeno Disuelto	(mg/l)	0	10,83	9,80	-	10,08
		10	10,83	9,96	-	10,17
		20	11,88	8,97	-	10,01

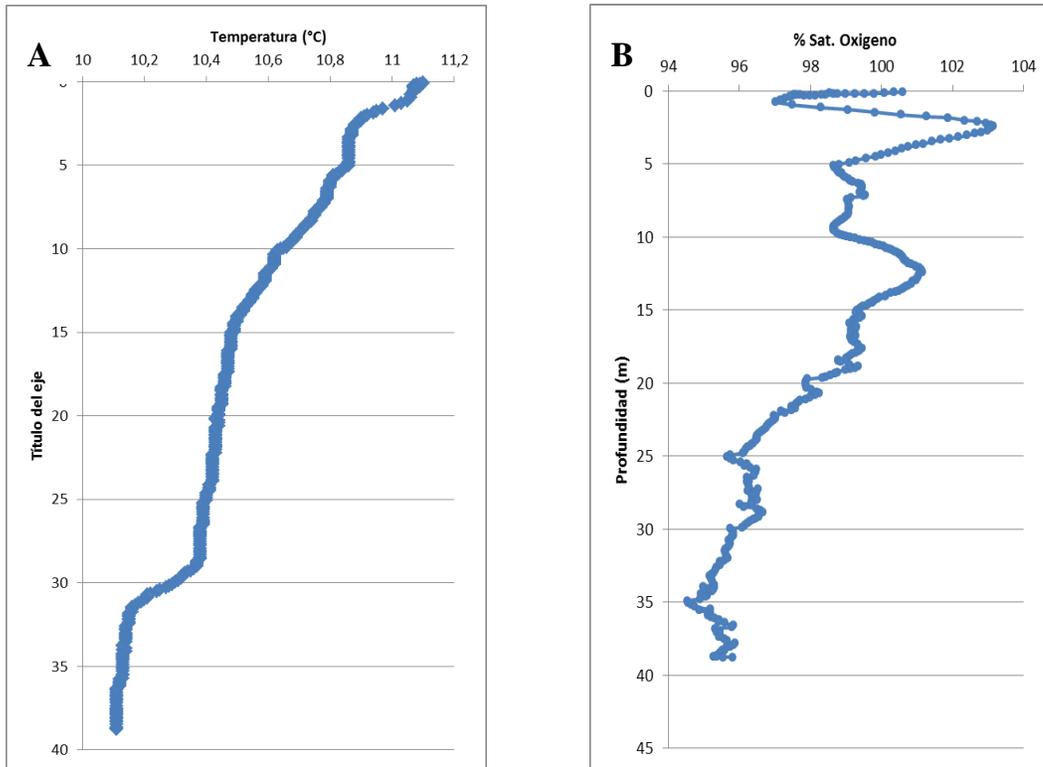


Figura 38. Perfiles obtenidos a través de CTD estación pelagial Centro en época estival (octubre de 2014) A) Perfil de temperatura; B) % Sat. Oxígeno.

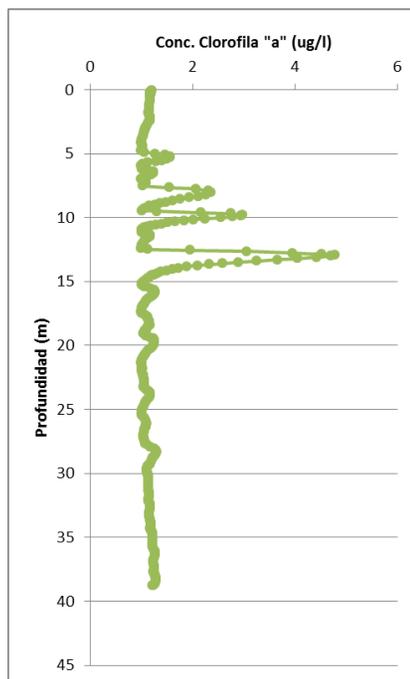


Figura 39. Perfil de Clorofila "a", obtenido en LIT-VILLARRICA, noviembre de 2014 por la DGA.

6.5 Resultados de bioindicadores área LIT-Villarrica.

- FITOPLANCTON (AB. Y COMP., CEL/ML)

De acuerdo a lo establecido en el PMCCA, fueron realizadas las mediciones de las comunidades fitoplanctónicas del área LIT-Villarrica a las profundidades de 0, 10, 20 m. A continuación se presenta la información de la comunidad fitoplanctónica realizada en las fechas Noviembre de 2013, Febrero de 2014, octubre de 2014 y Enero de 2015.

De la Tabla 33 y Figura 40, se observa que la clase más abundante en esta estación definida en la campaña de noviembre de 2013, pertenece a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton resultó ser la con mayor abundancia en toda la columna de agua superando el 76% de dominancia frente a las demás especies, distribuyéndose de manera homogénea en la columna de agua.

Tabla 33. Abundancia de especies estación LIT-Villarrica, período Noviembre de 2013.

Lago Villarica, Litoral Villarrica	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	1.666	0,57				
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	40.317	13,82	54.978	9,6	39.151	20,98
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	833	0,29	1.999	0,3	1.000	0,54
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	244.902	83,95	513.128	89,3	141.610	75,89
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	333	0,11				
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	500	0,17	333	0,1	500	0,27
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	2.166	0,74	1.666	0,3	3.832	2,05
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg			1.999	0,3		
CHLOROPHYCEAE						
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood	500	0,17	666	0,1	333	0,18
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat (Col/L)	333	0,11				
<i>Staurastrum pingüe</i> Teiling	167	0,06				
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt					167	0,09
TOTAL	291.717	100	574.770	100	186.592	100

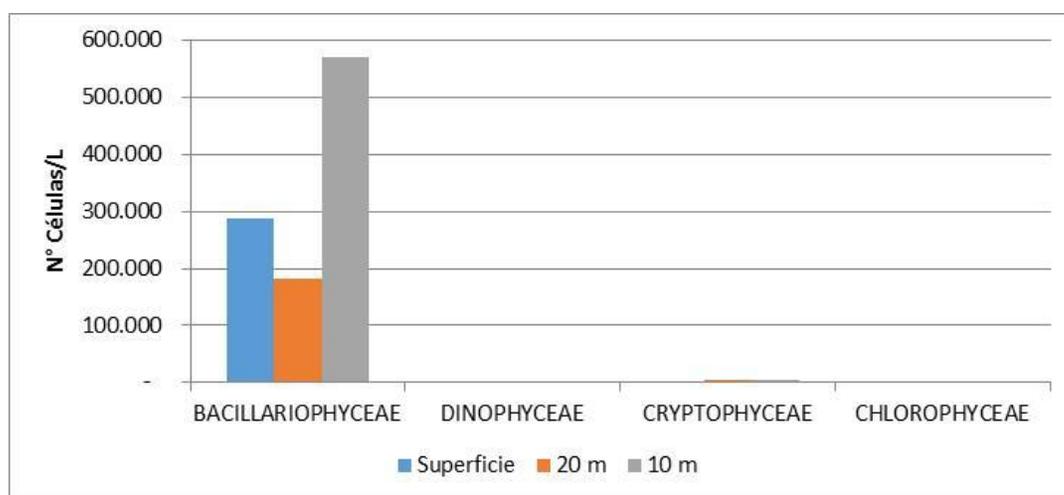


Figura 40. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreadas en Noviembre del 2013. LIT Villarrica.

De la Tabla 34 y Figura 41, se observa que la clase más abundante en esta estación definida en la campaña de febrero de 2014, pertenece a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton resultó ser la con mayor abundancia en toda la columna de agua superando el 76% de dominancia frente a las demás especies, distribuyéndose de manera homogénea en la columna de agua. Dentro de la clase CYANOPHYCEAE, fue identificada la especie *Anabaena*.

Tabla 34. Abundancia de especies estación LIT-Villarrica, período Febrero de 2014.

Lago Villarrica, Litoral Villarrica	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	833	2,4			996	2,0
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	1.999	5,8	500	0,9	498	1,0
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	333	1,0				
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	22.991	66,7	32.987	61,1	29.548	58,5
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	167	0,5	167	0,3		
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing			333	0,6		
<i>Diatoma</i> sp			167	0,3		
<i>Melosira hustedtii</i> G.Krasske			1.333	2,5	166	0,3
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing			167	0,3		
Otras diatomeas céntricas			333	0,6		
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen					2.822	5,6
<i>Fragilaria</i> sp.					1.743	3,4
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst					166	0,3
<i>Gomphonema</i> sp					83	0,2
Otras diatomeas penadas					249	0,5
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn (Fil/L)	666	1,9	500	0,9	83	0,2
DINOPHYCEAE		0,0				
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	4.498	13,0	12.162	22,5	7.055	14,0
<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	167	0,5	333	0,6		
CRYPTOPHYCEAE		0,0				
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	1.000	2,9	2.666	4,9	6.640	13,1
XANTHOPHYCEAE		0,0				
<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson (Fil/L)	333	1,0	833	1,5	415	0,8
CHLOROPHYCEAE		0,0				
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	167	0,5	167	0,3		
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat (Col/L)	1.000	2,9	333	0,6	83	0,2
<i>Cosmarium</i> sp.	167	0,5	167	0,3		
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood			167	0,3		
<i>Closterium acutum</i> Brébisson			167	0,3		
<i>Monoraphidium aff irregulare</i> (Smith) Komárková-Legnerová			167	0,3		
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	167	0,5	333	0,6		
TOTAL	34.486	100	53.978	100	50.547	100

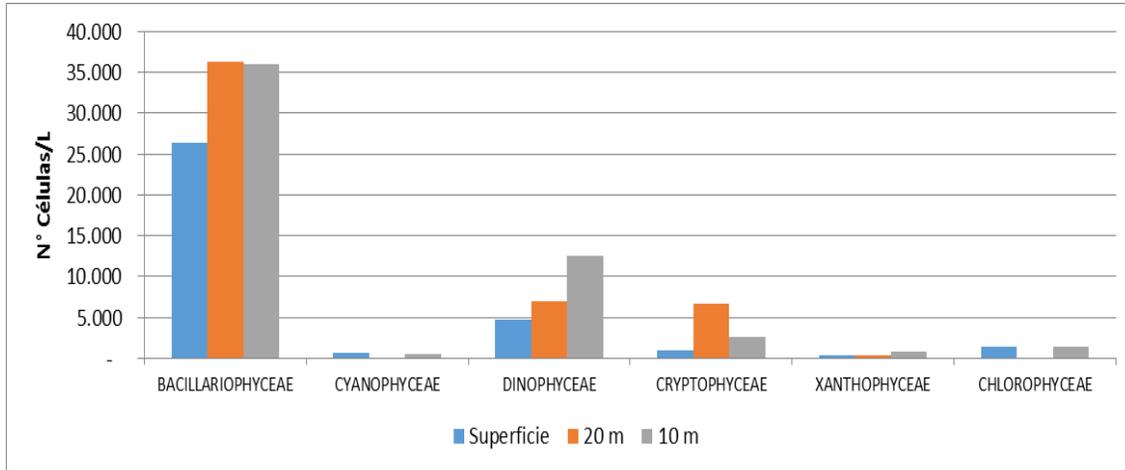


Figura 41. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en febrero de 2014. LIT Villarrica.

De la Tabla 34 y Figura 42, se observa que la clase más abundante en esta estación definida en la campaña de Octubre de 2014, pertenece a la clase Chlorophyceae, presentando sus mayores abundancias a los 10 metros de profundidad. En esta campaña de muestreo existió mayor heterogeneidad de las especies, respecto a campañas anteriores, siendo las densidades celulares más altas las de las especies *Kirchneriella lunaris*, *Sphaerocystis schroeteri*.

Tabla 35. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para LIT Villarrica.

LIT VILLARRICA	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	140	0,1	120	0,1	0	0,0
<i>Closterium acuminatum</i> Kützing ex Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	5323	3,1	1800	0,8	2884	2,5
<i>Cosmarium</i> sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	31.940	18,7	138.408	59,4	57.670	50,2
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	480	0,3	440	0,2	2884	2,5
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	0	0,0	2240	1,0	120	0,1
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	47.911	28,1	23.068	9,9	11.534	10,0
<i>Nephrocytium</i> sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chordat	10.647	6,2	4.160	1,8	2.160	1,9
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W.West	0	0,0	0	0,0	1500	1,3
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	40	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Tetraedron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Ulothrix</i> sp.	240	0,1	0	0,0	6000	5,2
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	360	0,2	200	0,1	0	0,0
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	40	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	40	0,0	0	0,0	0	0,0
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Achnanthes</i> spp.	5.323	3,1	0	0,0	0	0,0
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	1.320	0,8	5420	2,3	0	0,0
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	5.323	3,1	0	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	10.647	6,2	0	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	320	0,2	4614	2,0	270	0,2

<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W.Smith	0	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Cymbella</i> sp.	0	0,0	0	0,0	30	0,0
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	0	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	0	0,0	0	0,0	30	0,0
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	0	0,0	160	0,1	0	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	1.520	0,9	320	0,1	810	0,7
<i>Fragilaria</i> sp1.	0	0,0	0	0,0	30	0,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	40	0,0	80	0,0	120	0,1
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	40	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	9227	4,0	5767	5,0
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	0	0,0	440	0,2	60	0,1
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	0	0,0	0	0,0	30	0,0
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Kützing	160	0,1	0	0,0	0	0,0
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	5.323	3,1	0	0,0	0	0,0
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	40	0,0	40	0,0	0	0,0
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas</i> sp.	320	0,2	680	0,3	2.884	2,5
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	560	0,3	4614	2,0	5767	5,0
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	42.587	25,0	36.909	15,8	14.418	12,5
Abundancia total (cel L⁻¹)	170.685	100	233.140	100	114.966	100

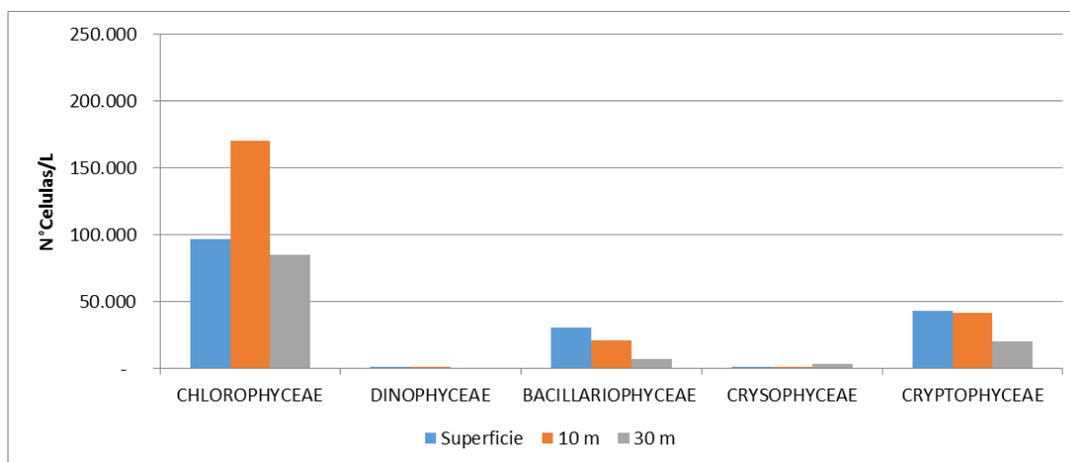


Figura 42. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para LIT Villarrica.

De la Tabla 36 y Figura 43 se observa que en verano de 2015 se presentaron diferencias más notorias entre superficie medio y fondo, en cuanto a la composición y densidad celular, que las observadas en las campañas realizadas anteriormente. Se observó que la clase más representada es Bacillariophyceae, siendo las especies *Aulacoaseira granulata*, *Discostella stelligera*, *Fragilaria crotonensis* y *Melosira distans* las que presentaron mayores densidades celulares, encontrándose distribuidas de manera uniforme en la columna de agua. La clase Chlorophyceae también aparece con especies dominantes (densidad), tales como *Kirchneriella lunaris*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Eudorina elegans* Ehrenberg. En esta campaña se reporta el taxa *Anabaena (circinalis* Rabenhorst) del grupo de las cianofíceas, la cual representó un un 7% del total de especies identificadas en superficie.

Tabla 36. Abundancia de especies estación LIT-Villarrica, período enero de 2015.

LIT VILLARRICA	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	50	0,0	900	0,1	2.100	0,1
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	0	0,0	11.534	0,6	0	0,0
<i>Closterium sp.</i>	0	0,0	0	0,0	13.841	0,8
<i>Cosmarium sp.</i>	300	0,0	250	0,0	200	0,0
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	51.903	4,6	23.068	1,3	48.443	2,9
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	43.253	3,9	0	0,0	20.761	1,2
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	207.612	18,5	426.759	24,0	207.612	12,2
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	17.301	1,5	92.272	5,2	96.886	5,7
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat	13.000	1,2	46.136	2,6	6.920	0,4
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W.West	0	0,0	13.000	0,7	2.400	0,1
<i>Spirogyra sp.</i>	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	550	0,0	650	0,0	400	0,0
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	6.600	0,6	5.750	0,3	9.400	0,6
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	420	0,0	3.000	0,2	2.400	0,1
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	2.100	0,2	4.800	0,3	4.800	0,3
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustisima</i> (O.F.Müller) Simonsen	20.700	1,8	41.400	2,3	96.600	5,7
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	60.480	5,4	65.520	3,7	141.120	8,3
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0	0,0	50	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0,0	11.534	0,6	0	0,0
<i>Cymbella sp.</i>	50	0,0	0	0,0	100	0,0
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	0	0,0	6.920	0,4
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	207.612	18,5	415.225	23,4	276.817	16,3
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	150	0,0	0	0,0	150	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	31.500	2,8	65.750	3,7	61.000	3,6
<i>Fragilaria sp.</i>	600	0,1	0	0,0	34.602	2,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	150	0,0	400	0,0	200	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	17.301	1,5	23.068	1,3	13.841	0,8
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	0	0,0	1.500	0,1	400	0,0
<i>Navicula sp.</i>	0	0,0	11.534	0,6	34.602	2,0
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	50	0,0	0	0,0	450	0,0
<i>Nitzschia sp.</i>	0	0,0	11.534	0,6	6.920	0,4
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	0	0,0	0	0,0	48.443	2,9
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller	50	0,0	50	0,0	300	0,0
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	190.311	16,9	103.806	5,8	173.010	10,2
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas sp.</i>	0	0,0	11.534	0,6	6.920	0,4
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	8651	0,8	11.534	0,6	6.920	0,4
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	155.709	13,9	276.817	15,6	249.135	14,7
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena aff circinalis</i> Rabenhorst	86.400	7,7	96.000	5,4	124.800	7,3
Abundancia total (cel L⁻¹)	1.122.804	100	1.775.375	100	1.699.415	100

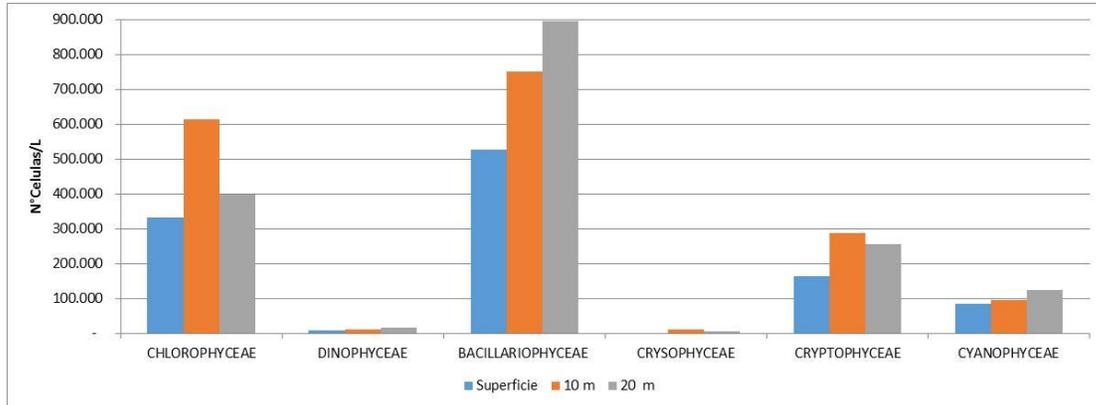


Figura 43. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero del 2015 para LIT Villarrica.

- MONITOREO DE MACRÓFITOS BIOINDICADORES DE TROFÍA.

El uso de macrófitos como bioindicador de calidad del agua en esta área de vigilancia consideró dos puntos de muestreo que se ubicaron en las estaciones indicadas en la Figura 44. Los resultados de trofía a partir de macrófitos en esta área de vigilancia se indican en la Tabla 37. La Metodología de San Martín y de ITFM mostraron valores concordantes en nivel de trofía medio. En el caso de sector Costanera, el ITFM lo define como en categoría media, mientras que en el San Martín *et al*, lo clasifica dentro de la categoría de trofía baja.

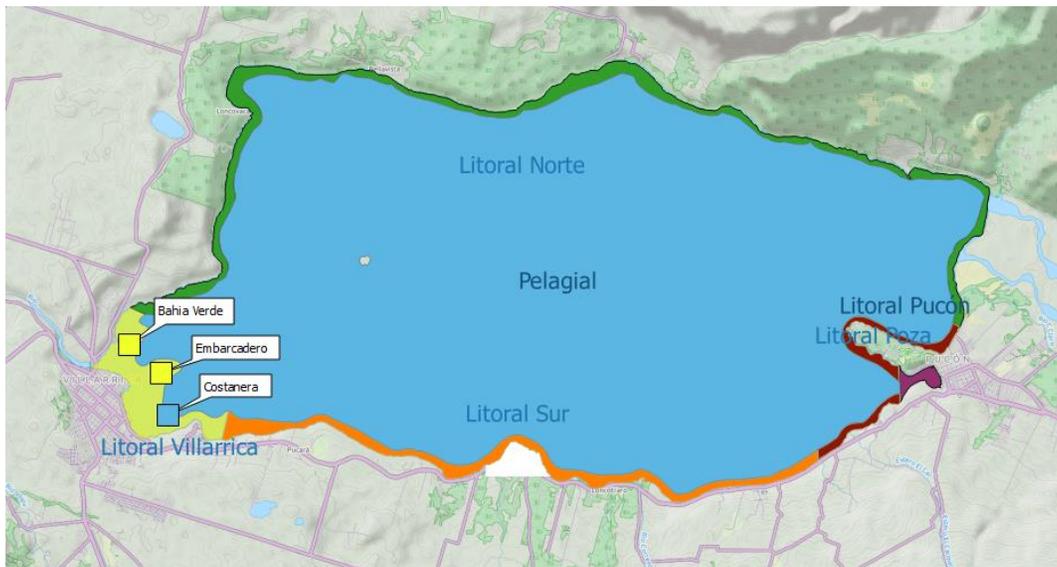


Figura 44. Muestreo de macrófitos bioindicadores en dos puntos del sector Litoral Villarrica.

Tabla 37. Niveles de trofia de las estaciones de muestreo del lago Villarrica, según la metodología de San Martín et al. (2003) y metodología de ITFM (2014), propuesta por UCT.

Estación	Nivel de trofia de acuerdo a San Martín (2003)			Nivel de trofia de acuerdo a ITFM (UCT, 2014)	
	Riqueza	Abundancia		-	
Costanera	Medio	Bajo		Medio	
Embarcadero	Medio	Medio		Medio	
Bahia verde	Medio	Medio		Medio	

7. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL SUR

7.1 Características del área Litoral SUR.

Este área de vigilancia se encuentra caracterizada por la presencia de casas de veraneo colindantes con el lago, las cuales cuentan con sistemas de alcantarillado particulares que derivan en infiltraciones y drenaje hacia las aguas del mismo. En esta zona se encuentran afluentes de bajo aporte hacia el lago, tales como el estero Huichatío, Molco, Correntoso, los cuales concentran también descargas hacia el lago Villarrica.

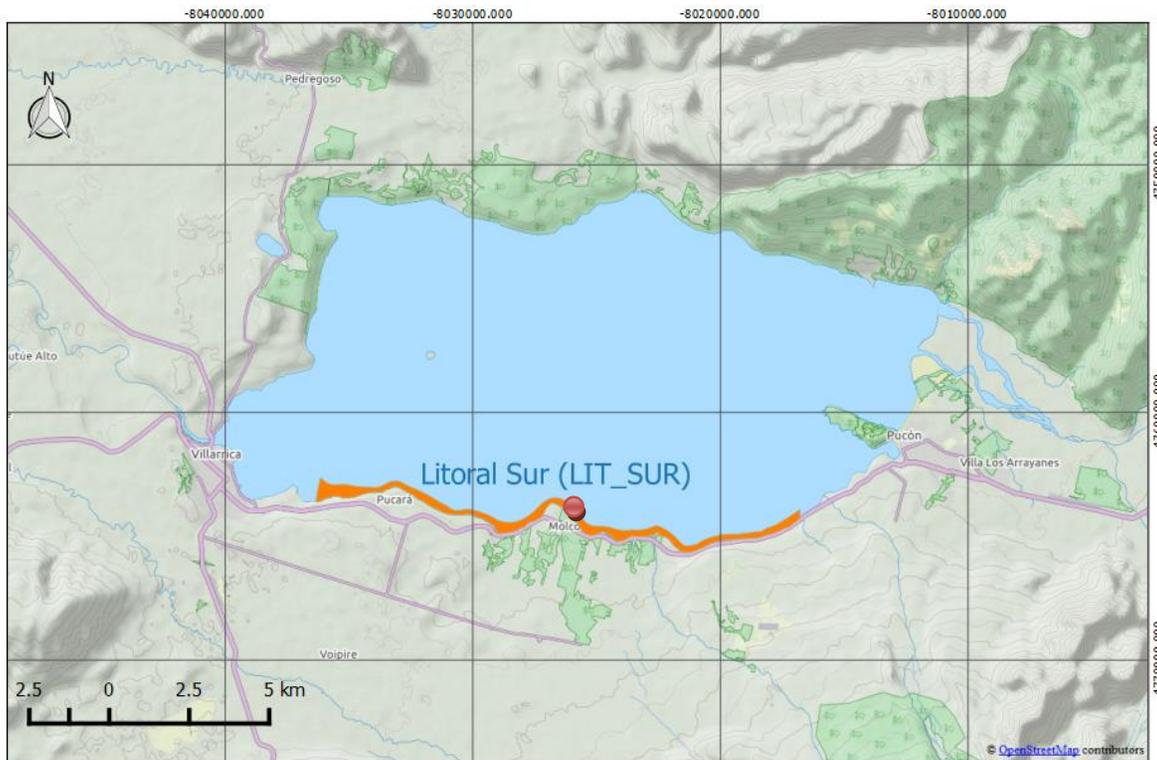


Figura 45. Representación del área de vigilancia Litoral Sur.

Fuente: Elaboración propia

Dadas las buenas condiciones de navegación, según se muestra en la según lo señalado en la Tabla 38, en esta estación se pudieron realizar todos los monitoreos de control de la norma. Las muestras de agua en esta área fueron realizadas a 0, 10 y 20 metros de profundidad.

Tabla 38. Parámetros meteorológicos estación LIT-SUR.

Estación PELAGIAL	FECHA DE MUESTREO			
	13/11/2013	04-02-2014	06-10-2014	27-01-2015
Temperatura ambiental (°C)	13,5	22,0	14,2	18,2
Humedad relativa (%)	61,5	53,0	68,0	64,9
Velocidad del viento (m/s)	2,6	0,5	1,4	**
Estado del tiempo (octas)	Nublado (4/8)	Nublado (4/8)	Nublado (8/8)	Nublado (7/8)
Presión Atmosférica (mbar)	1000	990	993	990

7.2 Parámetros fundamentales y determinación de índice de trofia Carlson

La tabla a continuación, muestra los resultados de los parámetros fundamentales analizados en esta área de vigilancia. Los valores reportados corresponden a Transparencia, y Clorofila "a".

Tabla 39. Resultados de monitoreo de Cl "a", Transparencia y % Sat. Oxígeno área de vigilancia LIT-Sur.

Fecha campaña	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Transparencia	Saturación Oxígeno (%)	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Clorofila "a"
13-11-2013	8,0	103,2	1,3
04-02-2014	7,0	121,4	4,0
06-10-2014	9,0	-	1,4
27-01-2015	8,0	109,0	14,4
Promedio Bianual	8,0	106,7	4,9
Max/min	7,0	99,0	14,4
Norma Promedio	≥7	-	≤5
Norma Min/Max	≥4	≥70	≤10

⁽¹⁾La metodología de cálculo del promedio ponderado de concentraciones aparece en el PMCCA del ANEXO 1.

⁽²⁾Promedio anual entre primavera 2013 y verano 2014 / primavera 2014 y verano 2015.

 Supera Norma  No se cumple 80% del límite normativo

De la Tabla 39, se puede observar que el valor promedio de transparencia de la norma se presentó en niveles cercanos a lo estipulado (< 120 % de la norma). En el caso de Clorofila "a", el valor promedio se registró en un cercanos a lo estipulado (< 120 % de la norma) Mientras que el valor máximo fue superior al valor de la Norma.

De acuerdo a la clasificación de trofia de Carlson, los valores de TSI para disco Secchi se encontraron en un rango de oligotrofia y oligo-mesotrofia. Para el caso Clorofila "a" se observa que la campaña de nov. 2013 y octubre de 2014 los valores de TSI se mostraron en un rango de oligo-mesotrofia, mientras que en las campañas de febrero de 2014 y enero de 2015 los valores de TSI se encontraron en un rango de mesotrofia y eutrofia respectivamente .

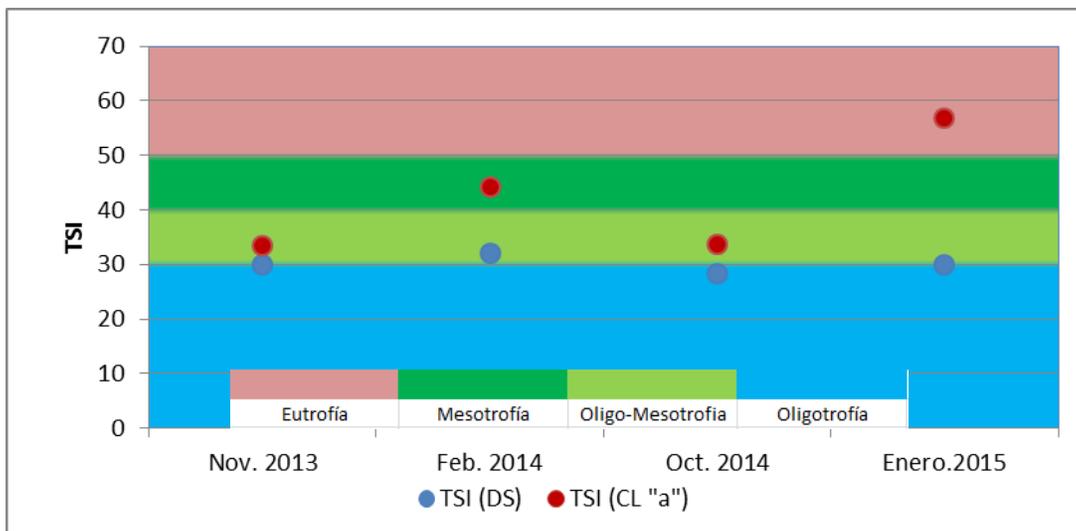


Figura 46. Índice de Carlson aplicado al área Lit-SUR.

7.3 Parámetros de Intervención antrópica.

La Tabla 40, muestra los resultados 3 campañas de monitoreo para la estación Lit-Sur en la matriz agua. De los resultados, se puede observar que los valores obtenidos para HCT se encuentran por debajo del Límite de detección (< 2 mg/l) de la técnica analítica.

Tabla 40. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Sur en matriz agua, según mediciones realizadas por DIRECTEMAR en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Parámetros	Unidad	Profundidad (m)	13/11/2013	04/02/2014	30/10/2014	27/01/2015
DBO₅ (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<2	2	<2
		10	-	<2	2	2
		20	-	<2	<2	2
DQO (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<2	6	15
		1,5	-	<2	8	22
		2,5	-	<2	5	19
HCT (LD= 5 mg/l)	mg/ L	0,5	-	<5	<2,5	<5
		10	-	-	-	-
		20	-	-	-	-
SILICE (LD=0.1 mg/L)	mg/ L	0,5	-	17	18	22
		10	-	17	18	23
		20	-	19	16	22

En la Figura 47 A, se muestra se muestra la tendencia hacia el aumento de las concentraciones de DQO y en la Figura 47 B, se muestra las concentraciones de Sílice en las campañas de muestreo realizadas, no observándose variaciones importantes.

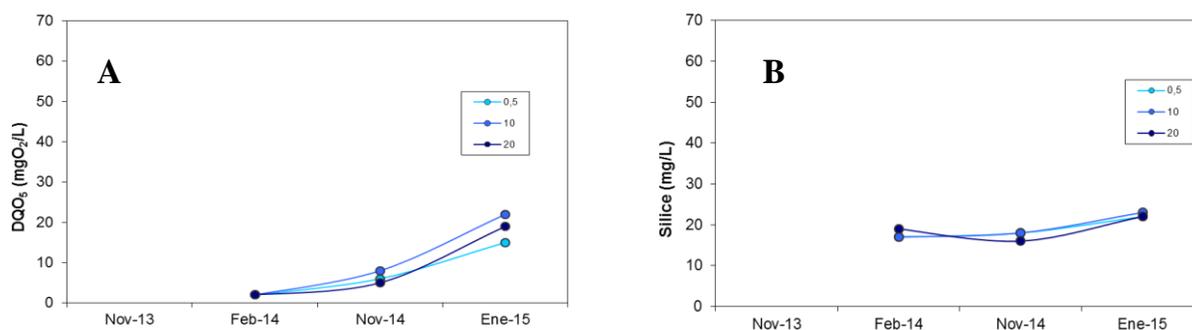


Figura 47. Representación gráfica de los resultados de A) DQO (mg/l) y B) Sílice (mg/l).

La Tabla 41 muestra los resultados obtenidos para la matriz sedimentos de acuerdo a lo establecido por el programa de vigilancia. Las concentraciones de metales pesados analizados como Cd, Pb, Hg resultaron por debajo del Limite de detección de la metodología analítica (Cd: 0,1 mg/Kg; Pb: 0,5 mg/Kg y Hg: 0,01 mg/Kg), siendo detectados Cu y As.

Tabla 41. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Sur en sedimentos según mediciones realizadas por DIRECTEMAR.

Red de Observación - Matriz sedimentaria					
Parámetros	Unidad	04-02-2014	30-10-2014	26-01-2015	
Cadmio	mg/Kg	<0,1	<0,1	-	
Cobre	mg/Kg	21	11	-	
Plomo	mg/Kg	<0,5	0,6	-	
Arsénico	mg/Kg	0,36		-	
Mercurio	mg/Kg	<0,01		-	
Hidrocarburos Totales	mg/Kg	<25	<10	-	
Materia Orgánica	%	1	0,9	-	
COT	g/Kg	1.093		-	
COT	%		1,6	-	
NTK	mg/Kg	547	245	-	
Fósforo Total	mg/Kg	13	47	-	
Granulometría (% Retención)	Micrones	Clasificación (% retención)			
	2000	Arena muy gruesa	19,9	5,53	-
	1000	Arena gruesa	22,4	20,2	-
	500	Arena media	22,2	38,5	-
	250	Arena fina	20,5	23,6	-
	125	Arena muy fina	11,1	9,1	-
	63	Limo grueso	3,76	3,08	-

Para las dos campañas realizadas, la matriz sedimentos presenta características texturales repartidas entre arena muy gruesa, gruesa, media y fina (85%), estando en menor proporción representada por limo grueso (3,76%).

7.4 Parámetros de condición natural.

Los parámetros de condición natural en Lit-SUR, incluyen mediciones de pH, turbidez (NTU), Oxígeno Disuelto (mg/l), cuyos resultados de las campañas Noviembre de 2013, Febrero de

2014 y Enero de 2015, se muestran en la Tabla 42 . Los perfiles de Temperatura, Oxígeno disuelto y Clorofila “a” no fueron medidos en esta área de vigilancia.

Tabla 42. Resultados parámetros pH, Turbiedad y Oxígeno disuelto LIT-Sur.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
pH	Unid. pH	0	8,45	9,32	-	8,76
		10	8,40	9,48	-	8,76
		20	8,30	8,85	-	8,42
Turbiedad	NTU	0	2,0	34,8	-	0,6
		10	0,0	0,0	-	1,6
		20	0,0	0,0	-	1,9
Oxígeno Disuelto	(mg/l)	0	10,67	10,16	-	9,62
		10	10,73	11,65	-	10,03
		20	10,74	9,97	-	10,02

7.5 Resultados de bioindicadores área LIT-SUR

FITOPLANCTON (AB. Y COMP., CEL/ML)

Las mediciones de las comunidades fitoplanctónicas del área LIT-SUR fueron realizadas para profundidades de 0, 10, 20 m. A continuación se presentan los resultados obtenidos en las campañas de Noviembre de 2013, Febrero de 2014, Octubre de 2014 y Enero de 2015.

De la Tabla 43 y Figura 48 se observa que la clase más abundante en esta estación en la campaña de Noviembre de 2013, corresponde a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton resultó ser la con mayor abundancia en toda la columna de agua, superando el 77% de dominancia frente a las demás especies, distribuyéndose de manera homogénea en la columna de agua.

Tabla 43. Abundancia de especies estación LIT-Sur, período Noviembre de 2013.

Lago Villarica, Litoral Sur	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	84.966	19,94	41.650	15,73	34.320	19,85
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	4.332	1,02	33	0,31	1.000	0,58
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	329.868	77,40	218.246	82,44	134.946	78,03
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot					167	0,10
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot					167	0,10
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	833	0,20	666	0,25	666	0,39
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	4.831	1,13	2.832	1,07	1.000	0,58
CHLOROPHYCEAE						
<i>Mougeotia</i> sp.	1.000	0,23				
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat (Col/L)	333	0,08	167	0,06		
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood			333	0,13	666	0,39
TOTAL	426.163	100	264.727	100	172.931	100

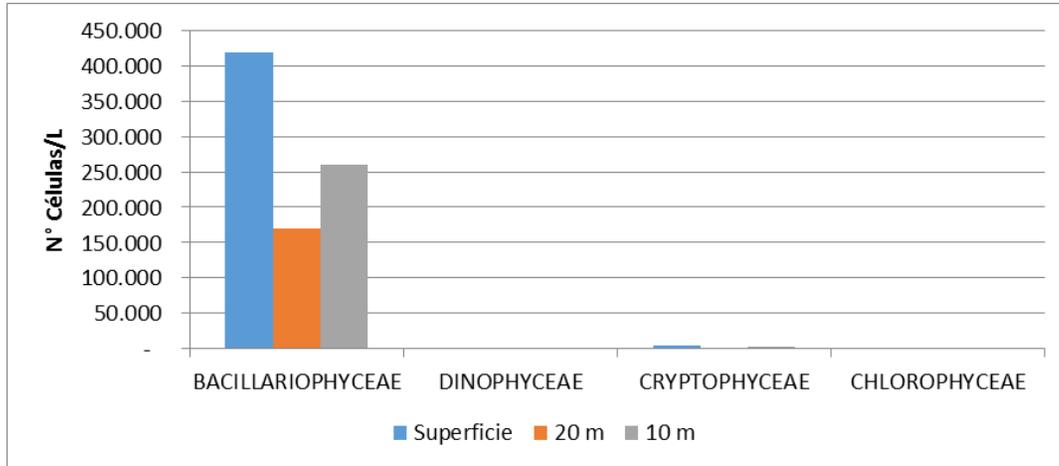


Figura 48. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Noviembre del 2013. LIT Villarrica.

En la Tabla 44 y Figura 49 se observa que la clase más abundante en esta estación en la campaña de Febrero de 2014, también corresponde con la especie *Fragilaria crotonensis* Kitton como la más abundante (> 90 % en superficie).

Tabla 44. Abundancia de especies estación LIT-Sur, período Febrero de 2014.

Lago Villarica, Litoral SUR	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	2.332	2,0			2.075	11,9
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen	1.333	1,1				
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	333	0,3				
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	167	0,1				
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	167	0,1				
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	107.290	92,0	22.658	49,1	4.648	26,7
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	500	0,4				
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	666	0,6				
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot			167	0,4	166	1,0
<i>Fragilaria</i> sp.			4.998	10,8	415	2,4
<i>Gomphonema</i> sp.			167	0,4		
Otras diatomeas penadas			167	0,4		
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing					83	0,5
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller					83	0,5
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn (Fil/L)			333	0,7		
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	2.166	1,9	14.161	30,7	9.047	51,9
<i>Peridinium willei</i> Huitfeld-Kaas	666	0,6	167	0,4	83	0,5
<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg					166	1,0
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	500	0,4	2.832	6,1	249	1,4
CHLOROPHYCEAE						
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	333	0,3				
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat (Col/L)	167	0,1	167	0,4	332	1,9
XANTHOPHYCEAE						
<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson (Fil/L)			333	0,7	83	0,5
TOTAL	116.620	100	46.148	100	17.430	100

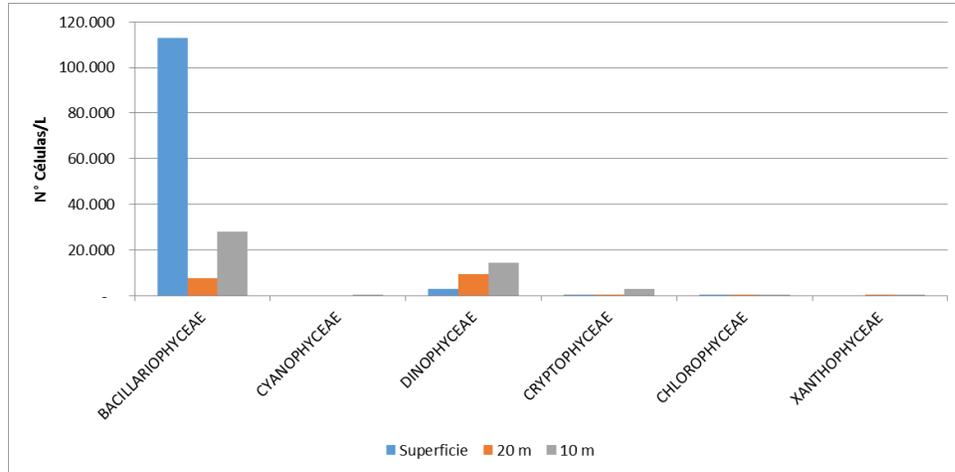


Figura 49. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en febrero de 2014. LIT SUR.

En la Tabla 45 y Figura 50, se observa que la clase más abundante en en la campaña de Febrero de 2014, corresponde a Chlorophyceae. La especie *Dictyosphaerium pulchellum* fue la de mayor densidad celular, la cual superó el 65% del total de especies identificadas a los 10 m de profundidad. La clase Cryptophyceae estuvo representada por la especie *Rhodomonas lacustris*.

Tabla 45. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para LIT SUR

LIT SUR	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	80	0,1	120	0,1	140	0,1
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	5.323	4,4	5323	2,3	5767	4,5
<i>Cosmarium</i> sp.	20	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	31.940	26,5	149.055	65,8	17.301	13,5
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	2.662	2,2	960	0,4	8.651	6,7
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	480	0,4	0	0,0	0	0,0
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	5.323	4,4	7.985	3,5	20.185	15,7
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	1.920	1,6	2.662	1,2	2.884	2,2
<i>Sphaerosoma aubertianum</i> W.West	0	0,0	0	0,0	1.600	1,2
<i>Staurastrum planctonicum</i> Teiling	20	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	20	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Zygnema</i> sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	60	0,0	240	0,1	80	0,1
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	100	0,1	1.040	0,5	140	0,1
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	40	0,0	100	0,0	0	0,0
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Achnanthes</i> spp.	7.985	6,6	2.662	1,2	0	0,0
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	0	0,0	0	0,0	960	0,7
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	20	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	140	0,1	2.662	1,2	60	0,0
<i>Cymbella</i> sp.	20	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	20	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	5.323	4,4	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	60	0,0	40	0,0	800	0,6
<i>Fragilaria</i> sp2.	0	0,0	20	0,0	40	0,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	100	0,1	120	0,1	120	0,1

<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer	20	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	0	0,0	20	0,0	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	5.323	4,4	5.323	2,3	5.767	4,5
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	0	0,0	200	0,1	0	0,0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	0	0,0	2.662	1,2	2.884	2,2
<i>Surirella</i> sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	20	0,0	0	0,0	0	0,0
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas</i> sp.	5.643	4,7	5.323	2,3	5.767	4,5
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	2.662	2,2	13.308	5,9	11.534	9,0
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	45.249	37,5	26.617	11,7	43.253	33,7
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena</i> sp.	0	0,0	0	0,0	320	0,2
Abundancia total (cel L⁻¹)	120.575	100	226.543	100	128.291	100

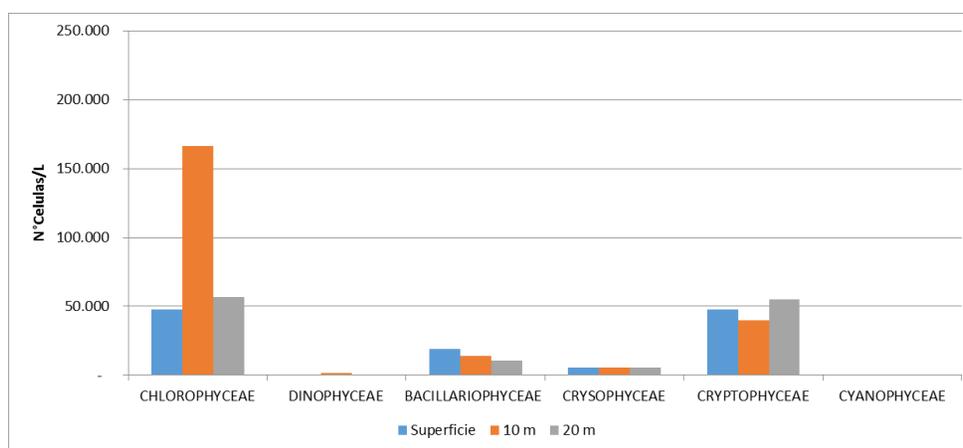


Figura 50. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para LIT SUR.

En la Tabla 46 y Figura 51, correspondiente a la campaña de verano de 2015, se observan diferencias más notorias, en cuanto a la composición y densidad celular del, que en las campañas anteriormente realizadas en esta área de vigilancia. La clase más abundante fue Bacillariophyceae, con las especies *Discostella stelligera* y *Fragilaria crotonensis* distribuidas de manera uniforme en la columna de agua. La clase Chlorophyceae también aparece con especies como *Kirchneriella lunaris*, *Elakatothrix gelatinosa*, las cuales presentaron las mayores densidades para este grupo clase. En esta campaña se reporta la especie clase *Anabaena obstnate* con solo un 2% de abundancia respecto del total de taxa identificados.

Tabla 46. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015 para LIT SUR.

LIT sur	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	400	0	300	0	1.200	0
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	0	0	13.841	1	0	0
<i>Cosmarium</i> sp.	200	0	200	0	300	0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	0	0	27.682	2	0	0
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	83.045	6	13.841	1	27.682	2
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	800	0	110.727	9	13841	1
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	650.519	44	553.633	43	27.682	2

<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	55.363	4	55.363	4	41.522	3
<i>Sphaeroszma aubertianum</i> W.West	0	0	0	0	6.400	0
<i>Spirogyra</i> sp.	0	0	0	0	1.200	0
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	100	0	300	0	400	0
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	4.200	0	12.500	1	9.200	1
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	3.600	0	2.600	0	4.600	0
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	3.300	0	3.600	0	4.200	0
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Amphipleura</i> sp.	100	0	0	0	0	0
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustisima</i> (O.F.Müller) Simonsen	2.300	0	18.400	1	165.600	11
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	10.080	1	60.480	5	342.720	23
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0	0	0	13.841	1
<i>Cymbella</i> sp.	0	0	100	0	100	0
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	318.339	22	0	0	318.339	22
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	0	0	100	0	200	0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	30.000	2	33.000	3	146.000	10
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	200	0	1.600	0	500	0
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	0	0	1.200	0	1.300	0
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	0	0	13.841	1	0	0
<i>Navicula</i> sp.	0	0	0	0	13.841	1
<i>Nitzschia</i> sp.	0	0	13.841	1	0	0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	13.841	1	0	0	0	0
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	41.522	3	83.045	6	0	0
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	55.363	4	13841	1	13841	1
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	166.090	11	193.772	15	221.453	15
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena aff circinalis</i> Rabenhorst	25.600	2	51.200	4	96.000	7
Abundancia total (cel L⁻¹)	1.464.963	100	1.279.006	100	1.471.962	100

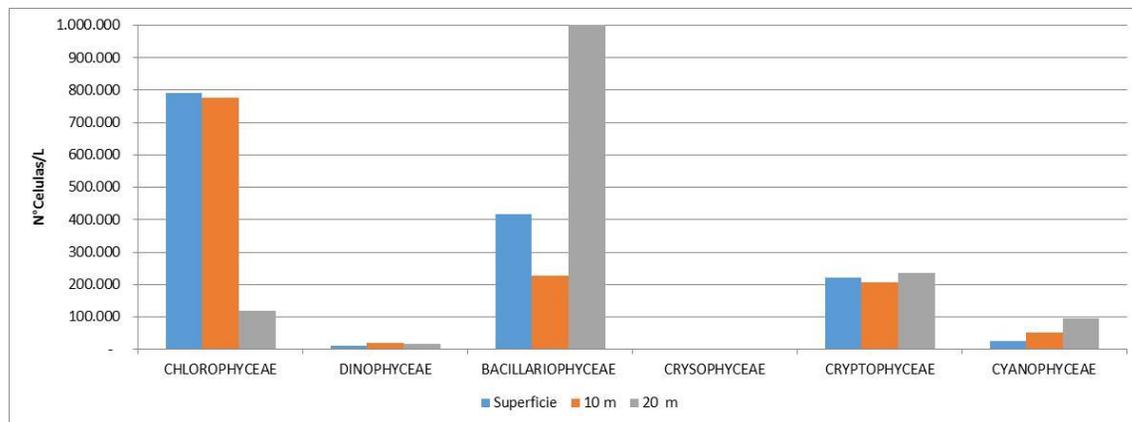


Figura 51. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015 para LIT SUR.

- MONITOREO DE MACRÓFITOS BIOINDICADORES DE TROFÍA.

El uso de macrófitos como bioindicador de calidad del agua en esta área de vigilancia se consideró dos puntos de muestreo que se ubicaron en las estaciones indicadas en la Figura 52. Los resultados de trofía a partir de macrófitos en esta área de vigilancia se indican en la Tabla 47.



Figura 52. Muestreo de macrófitos bioindicadores en dos puntos del sector Litoral Villarrica.

Tabla 47. Niveles de trofía de las estaciones de muestreo del lago Villarrica, según la metodología de San Martín et al. (2003) y metodología de ITFM (2015), propuesta por UCT.

Estación	Nivel de trofía de acuerdo a San Martín (2003)		Nivel de trofía de acuerdo a ITFM (UCT, 2014)	
	Riqueza	Abundancia		
Puerto Pinar	Bajo	Bajo		Bajo
Río Correntoso	Medio	Medio		Medio
Puntilla Norte	Bajo	Medio		Medio

8. ÁREA DE VIGILANCIA LITORAL POZA (LIT-POZA)

8.1 Características del área Litoral POZA

El área LIT-POZA, reviste especial importancia en su investigación y vigilancia, puesto que se caracteriza por ser un sector cerrado, de baja circulación de agua y de importancia para el turismo, puesto que concentra un sector de embarcaciones para deportes náuticos.

Este sector se caracteriza por presentar bajas profundidades (<10 m), lo cual facilita que se manifiesten con mayor facilidad los efectos de la eutrofización, tales como el crecimiento de especies como *Apium nodiflorum*, *Hydrocotyle*, *Ranunculus repens L.* y *Rumex conglomeratus Murr.*, las cuales dan cuenta del estado de trofía del ecosistema lacustre.

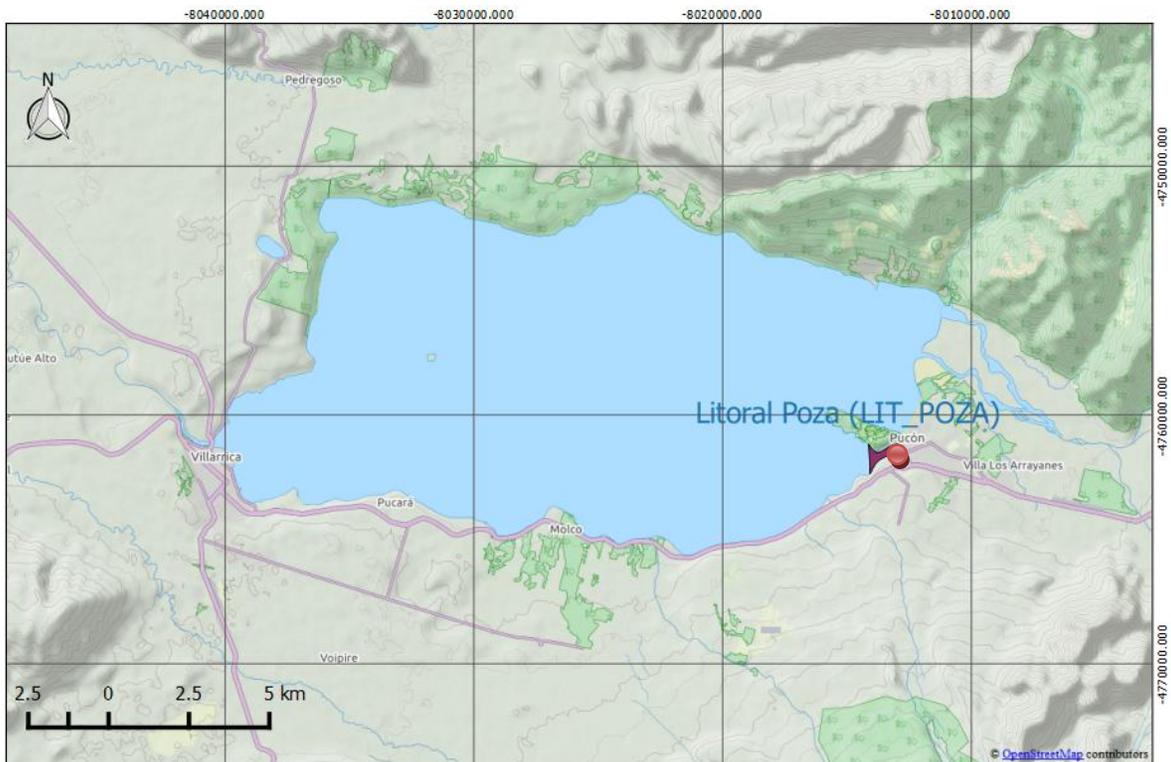


Figura 53. Representación del área de vigilancia Litoral Poza.

Dadas las buenas condiciones de navegación, según se muestra en la según lo señalado en la Tabla 48, en esta estación se pudieron realizar todos los monitoreos de control de la norma. Las muestras de agua en esta área fueron realizadas a 0, 10 y 20 metros de profundidad.

Tabla 48. Parámetros meteorológicos estación LIT-POZA.

Estación PELAGIAL	FECHA DE MUESTREO			
	13/11/2013	04-02-2014	06-10-2014	27-01-2015
Temperatura ambiental (°C)	15,8	16,8	21,0	27,8
Humedad relativa (%)	78,4	52,0	43,3	50,1
Velocidad del viento (m/s)	1,7	4,0	2,3	2,6
Estado del tiempo (octas)	Nublado (3/8)	Nublado (3/8)	Despejado	Despejado
Presión Atmosférica (mbar)	985	990	992	980

8.2 Parámetros fundamentales y determinación de índice de trofía Carlson

La Tabla 49 muestra los resultados de los parámetros fundamentales analizados en esta área de vigilancia. Los valores reportados corresponden a Transparencia, y Clorofila "a". y % Sat. Oxígeno.

Tabla 49. Resultados de monitoreo de Cl "a", Transparencia y % Sat. Oxígeno en área de vigilancia LIT-POZA.

Fecha campaña	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Transparencia	Saturación Oxígeno (%)	Promedio ponderado ⁽¹⁾ Clorofila "a"
13-11-2013	6,5	109,5	2,2
04-02-2014	5,0	106,9	3,1
06-10-2014	7,0	99	2,3
27-01-2015	10,5	111,4	13,2
Promedio Bianual	7,3	106,7	5,2
Max/min	5	99	13,2
Norma Promedio	≥7	-	≤5
Norma Min/Max	≥4	≥70	≤10

⁽¹⁾La metodología de cálculo del promedio ponderado de concentraciones aparece en el PMCCA del ANEXO 1.

⁽²⁾Promedio anual entre primavera 2013 y verano 2014 / primavera 2014 y verano 2015.



De la Tabla 49 se puede observar que el valor promedio de Transparencia resultó en niveles cercanos a lo estipulado (< 120 % de la norma). En el caso de Clorofila "a", los valores promedio y máximo, se registraron por sobre lo establecido en la norma.

De acuerdo a la clasificación de trofia de Carlson, los valores de Transparencia se encontraron en valores de oligo-mesotrofia para las primeras 3 campañas (Noviembre-2013, Febrero-2014 y Octubre-2014) y en valores de oligotrofia en la campaña estival de 2015. En el caso de la Clorofila "a", los valores obtenidos bordean la mesotrofia para las 3 primeras campañas, estando la medición de 2015 en condición de eutrofia.

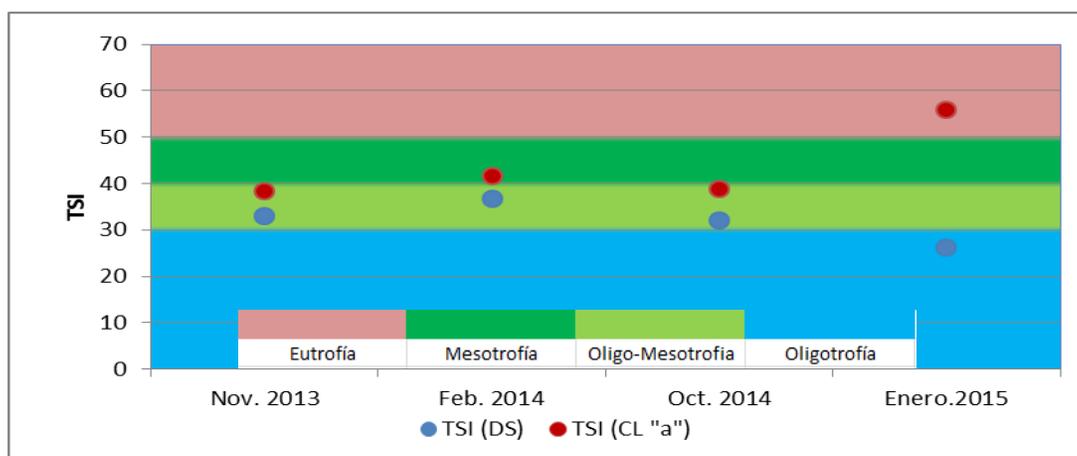


Figura 54. Índice de Carlson aplicado al área Lit-POZA.

8.3 Parámetros de Intervención antrópica.

La Tabla 50, muestra los resultados 3 campañas de monitoreo para la estación Lit-Poza en la matriz acuosa. De los resultados, se puede observar que los valores obtenidos para HCT se encuentran por debajo del Límite de detección de la técnica analítica (2 mg/l)

Tabla 50. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Poza en matriz acuosa, según mediciones realizadas por DIRECTEMAR en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Parámetros	Unidad	Profundidad (m)	13/11/2013	04/02/2014	30/10/2014	27/01/2015
DBO₅ (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	<2	<2	2	2
		10	<2	<2	3	2
		20	<2	<2	3	2
DQO (LD= 2 mg/l)	mg/ L	0,5	<2	<2	6	68
		1,5	<2	<2	11	58
		2,5	3	<2	11	62
HCT (LD= 5 mg/l)	mg/ L	0,5	<5	<2,5	<5	<5
		10	-	-	-	-
		20	-	-	-	-
SILICE (LD=0,1 mg/L)	mg/ L	0,5	8,8	18	8,5	29
		10	7,2	17	3,8	33
		20	7,1	20	24	27

En la Figura 55 A, se muestra se muestra la tendencia hacia el aumento de las concentraciones de DQO y en la Figura 55 B, se muestra la variación experimentada por el Sílice en las campañas de muestreo realizadas.

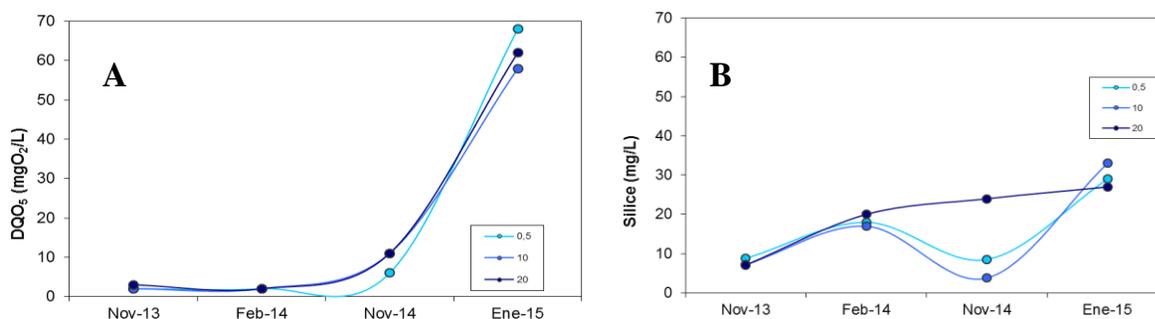


Figura 55. Representación gráfica de los resultados de A) DQO (mg/l) y B) Sílice (mg/l).

La Tabla 51 muestra los resultados obtenidos para la matriz sedimentos de acuerdo a lo establecido por el programa de vigilancia. Las concentraciones de metales pesados analizados como Cd, y Hg, resultaron por debajo del Limite de detección (Cd 0,1 mg/Kg; Hg: 0.01 mg/Kg) siendo detectados Cu y Pb y As.

Tabla 51. Resultados de la red de Observación, Área de Vigilancia Litoral Villarrica en sedimentos según mediciones realizadas por DIRECTEMAR.

Parámetros	Unidad	Red de Observación - Matriz sedimentaria		
		05-02-2014	10-11-2014	26-01-2015
Cadmio	mg/Kg	<0,1	<0,1	<0,1
Cobre	mg/Kg	30	28	11
Plomo	mg/Kg	0,9	2	<0,5
Arsénico	mg/Kg	1,73		0,16
Mercurio	mg/Kg	<0,01		0,01
Hidrocarburos Totales	mg/Kg	<10	<10	<10
Materia Orgánica	%	2,6	6	0,3
COT	g/Kg	10.001	-	
COT	%			0,0029
NTK	mg/Kg	4.165	37	416

Fósforo Total	mg/Kg	1	13	205	
Granulometría (% Retención)	Micrones	Clasificación			
	2000	Arena muy gruesa	15,2	2,6	2,11
	1000	Arena gruesa	4,25	2,11	14
	500	Arena media	7,28	2,91	49,8
	250	Arena fina	14,5	4,95	31,6
	125	Arena muy fina	23,4	10,3	0,81
	63	Limo grueso	15,4	16,6	0,62

De los resultados de la matriz sedimentos, las campañas de monitoreo realizadas mostraron diferencias en cuanto a las características texturales siendo marcadamente mayor el % de retención de la arena media en Enero de 2015 con un 31%, en comparación con las mediciones de años anteriores, en los cuales se observó una distribución uniforme de la composición granulométrica.

8.4 Parámetros de condición natural.

Los parámetros de condición natural en Lit-POZA, incorporan mediciones de pH, Turbidez (NTU), Oxígeno disuelto (mg/l), cuyos resultados de las campañas Noviembre de 2013, Febrero de 2014 y Enero de 2015, se muestran en la Tabla 52. De esta tabla, es posible ver que los valores de pH se mantuvieron en rango de 9 a 7 unidades para las cuatro campañas realizadas. La Turbiedad se mantuvo en valores bajos en todas las campañas. Finalmente, las concentraciones de Oxígeno disuelto en toda la columna de agua no registraron diferencias significativas, manteniéndose en valores cercanos a 10 en superficie y 11 mg/l en 20 m de profundidad. Los perfiles de temperatura, Oxígeno disuelto se muestran en la Figura 56 A y B.

Tabla 52. Resultados parámetros pH, Turbiedad y Oxígeno disuelto LIT-Poza.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
pH	Unid. pH	0	8,30	9,01	7,59	8,53
		10	8,43	9,42	7,67	8,59
		20	8,09	8,81	7,61	8,55
Turbiedad	NTU	0	5,4	0,0	0,0	1,3
		10	0,0	0,0	0,0	1,1
		20	0,0	0,0	0,0	1,3
Oxígeno Disuelto	(mg/l)	0	10,87	9,44	10,55	9,47
		10	11,19	9,62	10,62	10,41
		20	10,88	11,18	11,35	11,08

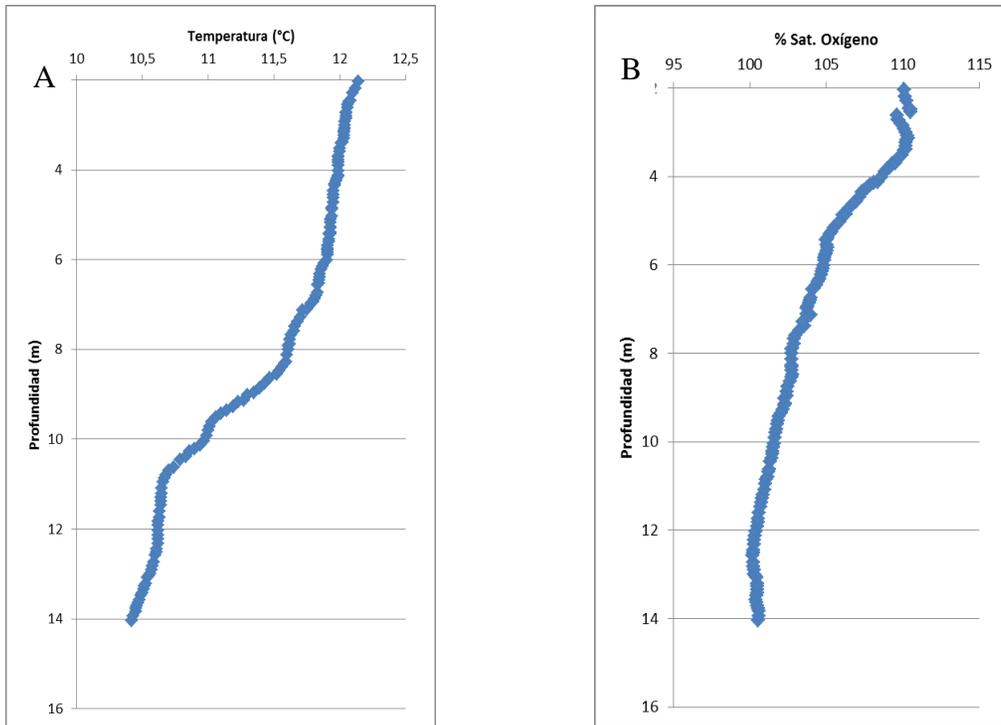


Figura 56. Perfiles obtenidos a través de CTD estación Lit POZA en época estival (octubre de 2014) A) Perfil de temperatura; B) % Sat. Oxígeno.

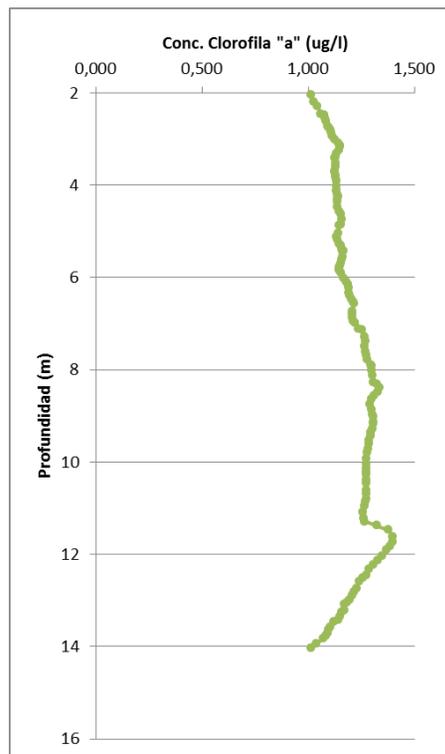


Figura 57. Perfil de Clorofila "a", obtenido en LIT-POZA Octubre de 2014 por la DGA.

Se observa un leve descenso de la temperatura en la zona litoral Poza, desde los 12,12 °C en superficie hasta los 10,42 °C en los 25 m de profundidad. La Figura 57 muestra el perfil de Clorofila “a”, en el cual se puede observar que las concentraciones se mantienen uniformes en la columna de agua, incrementándose levemente el valor de este parámetro, cerca de los 12 metros de profundidad.

8.5 Resultados de bioindicadores área LIT-POZA

- FITOPLANCTON (AB. Y COMP., CEL/ML)

De la Tabla 53 y Figura 58, se observa que la clase más abundante en esta estación en la campaña de Noviembre de 2013, corresponde a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton resultó ser la con mayor abundancia en toda la columna de agua superando el 80% de dominancia frente a las demás especies, distribuyéndose de manera homogénea en la columna de agua.

Tabla 53. Abundancia de especies estación LIT-Poza, período Noviembre de 2013.

Lago Villarica, Litoral La Poza	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	41.650	8,98	52.479	9,61	56.644	17,66
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	167	0,04				
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	1.666	0,36	1.999	0,37		
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	1.999	0,43				
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	416.500	89,83	483.140	88,50	258.230	80,52
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot			167	0,03	333	0,10
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick					500	0,16
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	666	0,14	666	0,12	500	0,16
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	666	0,14	6.831	1,25	3.832	1,19
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	333	0,07				
CHLOROPHYCEAE						
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood			333	0,06	666	0,21
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat (Col/L)			333	0,06		
TOTAL	463.648	100	545.948	100	320.705	100

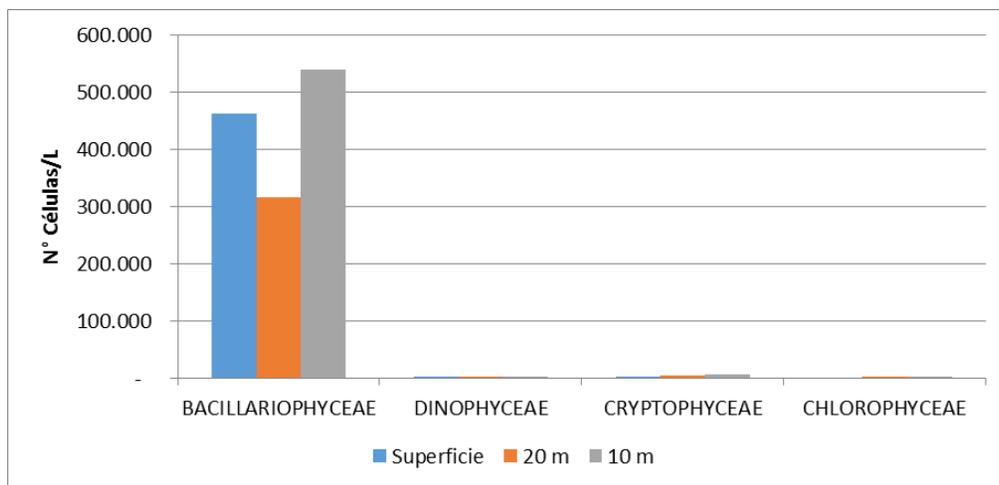


Figura 58. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Noviembre del 2013. LIT Poza.

En la Tabla 54 y Figura 59, se observa que la clase más abundante en esta estación en la campaña de Febrero de 2014, correspondió a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton, representó más del 70 % de la abundancia del total de especies identificadas, en la superficie del lago.

Tabla 54. Abundancia de especies estación LIT-Poza, período Febrero de 2014.

Lago Villarica, La Poza	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	2.832	4,5	1.554	9,9	581	2,5
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	666	1,1	333	2,1	249	1,1
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	43.982	70,4	3.552	22,7	10.292	44,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	167	0,3	111	0,7		
<i>Fragilaria</i> sp.	4.165	6,7			3.320	14,2
<i>Gomphonema</i> sp.	167	0,3				
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	167	0,3				
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	333	0,5			166	0,7
Otras diatomeas penadas	167	0,3				
<i>Melosira varians</i> C.Agardh			222	1,4		
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg			111	0,7		
<i>Cymbella affinis</i> Kützing			111	0,7		
<i>Nitzschia aff palea</i> (Kützing) W.Smith			222	1,4		
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing					166	0,7
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson					83	0,4
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn (Fil/L)	167	0,3	222	1,4		
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	7.997	12,8	8.214	52,5	7.470	31,9
<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	666	1,1	444	2,8	166	0,7
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	167	0,3	222	1,4	498	2,1
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	167	0,3			166	0,7
XANTHOPHYCEAE						
<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson (Fil/L)	333	0,5	111	0,7	83	0,4
CLOROPHYCEAE						
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat (Col/L)	167	0,3	111	0,7		
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	167	0,3				
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat			111	0,7		
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson					166	0,7
TOTAL	62.475	100	15.651	100	23.406	100

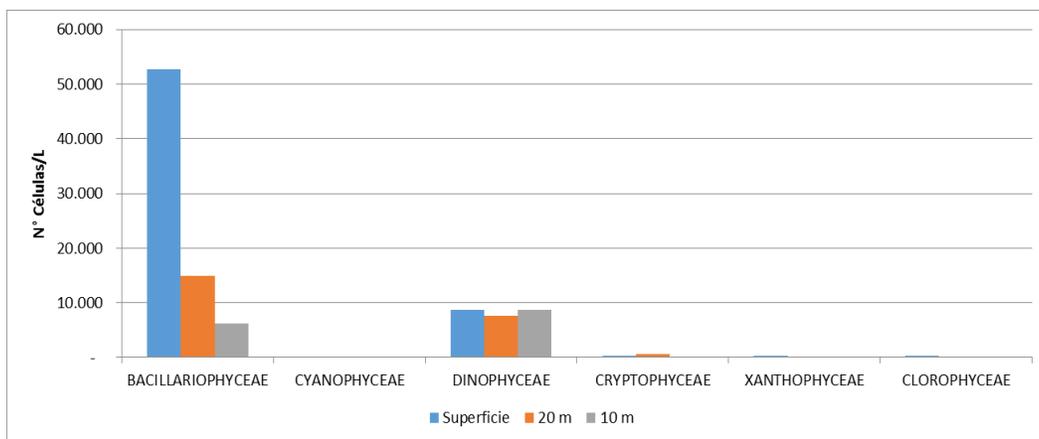


Figura 59. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en febrero de 2014. LIT Villarica.

En la Tabla 55 y Figura 60, se observa que la clase más abundante en esta estación correspondiente a Febrero de 2014, pertenece a Chlorophyceae. La especie *Dictyosphaerium pulchellum* resultó ser la con mayor densidad celular (> 20% del total de especies identificadas a los 10 m de profundidad). La clase Cryptophyceae se observó bien representada por la especie *Rhodomonas lacustris*.

Tabla 55. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para LIT Poza

LIT Poza	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	160	0,1	80	0,0	0	0,0
<i>Closterium acuminatum</i> Kützing ex Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	2.884	2,7	5.767	2,8	26.617	17,3
<i>Cosmarium</i> sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	23.068	21,2	86.505	42,1	31.940	20,7
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	240	0,2	5.767	2,8	5.323	3,5
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	640	0,6	0	0,0	0	0,0
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	11.534	10,6	0	0,0	15.970	10,4
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chordat	0	0,0	1.600	0,8	0	0,0
<i>Sphaeroszma aubertianum</i> W.West	0	0,0	2.400	1,2	0	0,0
<i>Ulothrix</i> sp.	2.400	2,2	0	0,0	0	0,0
<i>Zygnema</i> sp.	80	0,1	0	0,0	0	0,0
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	40	0,0	80	0,0	120	0,1
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	0	0,0	520	0,3	760	0,5
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	40	0,0	0	0,0	0	0,0
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Amphipleura</i> sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	240	0,2	8120	3,9	2.840	1,8
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	2.884	2,7	0	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	40	0,0	5767	2,8	40	0,0
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	80	0,1	0	0,0	200	0,1
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	40	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Fragilaria aff pinnata</i> Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	10.647	6,9
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow	5.767	5,3	1560	0,8	0	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	680	0,6	240	0,1	720	0,5
<i>Fragilaria</i> sp2.	2.160	2,0	160	0,1	80	0,1
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	720	0,7	80	0,0	40	0,0
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	0	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Gomphonema</i> sp1.	0	0,0	0	0,0	40	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	11.534	10,6	11534	5,6	0	0,0
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	80	0,1	320	0,2	0	0,0
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	5767	5,3	0	0,0	0	0,0
<i>Navicula</i> sp.	0	0,0	0	0,0	20	0,0
<i>Nitzschia kuetzingiana</i> Hilse	0	0,0	40	0,0	0	0,0
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	40	0,0	40	0,0	0	0,0
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas</i> sp.	2884	2,7	5767	2,8	0	0,0
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	2884	2,7	5767	2,8	5323	3,5
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	25.952	23,9	63.437	30,8	53.234	34,6
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena</i> sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Oscillatoria aff planctonica</i> Woloszynska	5767	5,3	0	0,0	0	0,0
Abundancia total (cel L⁻¹)	108.603		205.631		153.935	

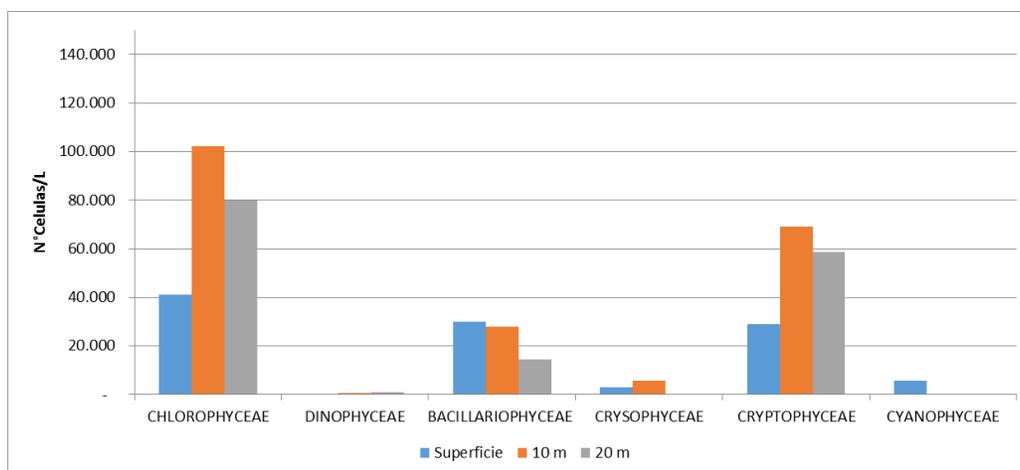


Figura 60. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para LIT Poza.

En la Tabla 56 y Figura 61, se observan diferencias significativas en cuanto a la composición y densidad celular del período estival 2015, respecto a las campañas anteriormente realizadas en esta área de vigilancia. Se observó que la clase mejor representada es Bacillariophyceae, siendo las especies *Discostella stelligera*, *Urosolenia eriensis* y *Fragilaria crotonensis* las que presentaron mayores densidades celulares, encontrándose distribuidas de manera uniforme en la columna de agua. La clase Chlorophyceae también aparece con especies como *Kirchneriella lunaris*, la cual alcanzó las mayores densidades dentro de esta clase hasta los 10 m de profundidad. La clase Cyanophyceae, aparece con densidades celulares importantes para la especie *Anabaena*, representando entre un 7 y 11 % del total de especies identificadas.

Tabla 56. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015 para LIT Poza.

LIT Poza	Superficie		10 m		20 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE						
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	2.400	0,1	1.800	0,1	2.400	0,2
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	13.841	0,7	8.651	0,5	13.841	1,3
<i>Cosmarium</i> sp.	200	0,0	100	0,0	250	0,0
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	13.841	0,7	34.602	2,1	6.920	0,7
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	1.200	0,1	8.651	0,5	2.700	0,3
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	401.384	19,6	423.875	25,4	6.920	0,7
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	41.522	2,0	17.301	1,0	6.920	0,7
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	0	0,0	69.204	4,1	13.841	1,3
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	400	0,0	700	0,0	1.500	0,1
DINOPHYCEAE						
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	5.000	0,2	6.950	0,4	7.500	0,7
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	6.000	0,3	3.300	0,2	3.300	0,3
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	9.000	0,4	6.300	0,4	9.300	0,9
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Achnanthes</i> spp.	0	0,0	0	0,0	34.602	3,3
<i>Amphipleura</i> sp.	0	0,0	50	0,0	0	0,0
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustisima</i> (O.F.Müller) Simonsen	41.400	2,0	55.200	3,3	69.000	6,6
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	30.240	1,5	151.200	9,1	221.760	21,4
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	6.920	0,7

<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0,0	25952	1,6	13.841	1,3
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	100	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Cymbella sp.</i>	0	0,0	50	0,0	250	0,0
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	581.315	28,4	328.720	19,7	145.329	14,0
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	300	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	36.000	1,8	96.500	5,8	95.500	9,2
<i>Fragilaria sp.</i>	55.363	2,7	8.651	0,5	6.920	0,7
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	300	0,0	900	0,1	900	0,1
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	8.651	0,5	6.920	0,7
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	0	0,0	600	0,0	1200	0,1
<i>Navicula sp.</i>	0	0,0	0	0,0	200	0,0
<i>Nitzschia sp.</i>	13.841	0,7	0	0,0	13.841	1,3
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	0	0,0	8.651	0,5	76.125	7,3
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	152.249	7,4	51.903	3,1	20.761	2,0
CRYSOPHYCEAE						
<i>Mallomonas sp.</i>	0	0,0	0	0,0	2.100	0,2
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	13.841	0,7	8.651	0,5	13.841	1,3
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	470.588	23,0	207.612	12,4	117.647	11,3
CYANOPHYCEAE						
<i>Anabaena aff circinalis</i> Rabenhorst	153.600	7,5	134.400	8,1	115.200	11,1
Abundancia total (cel L⁻¹)	2.043.925	100	1.669.123	100	1.038.250	100

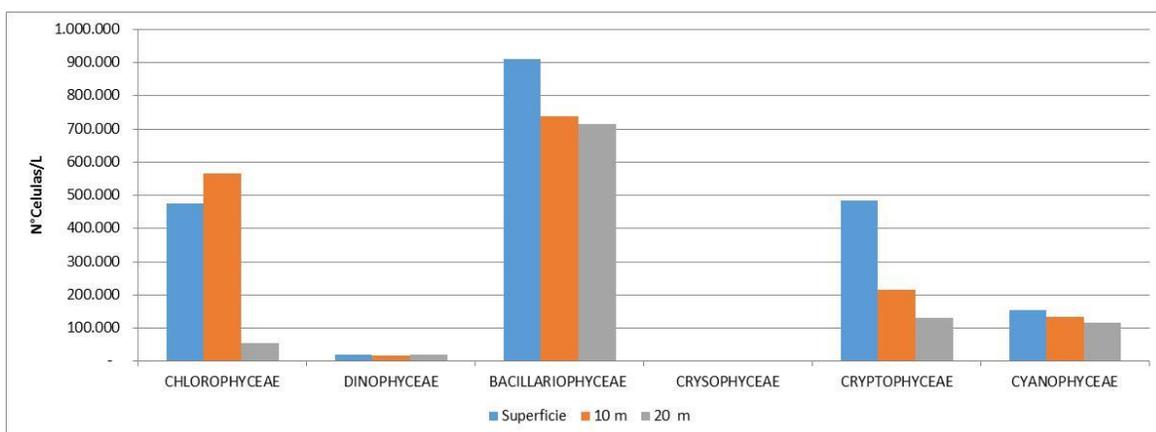


Figura 61. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015 para LIT Poza.

- MONITOREO DE MACRÓFITOS BIOINDICADORES DE TROFÍA.

El uso de macrófitos como bioindicador de calidad del agua en esta área de vigilancia consideró dos puntos de muestreo que se ubicaron en las estaciones indicadas en la Figura 62. Los resultados de trofía a partir de macrófitos en esta área de vigilancia se indican en la Tabla 57. De acuerdo a los resultados el nivel trófico a partir de macrófitos alcanza un nivel de trofía medio.

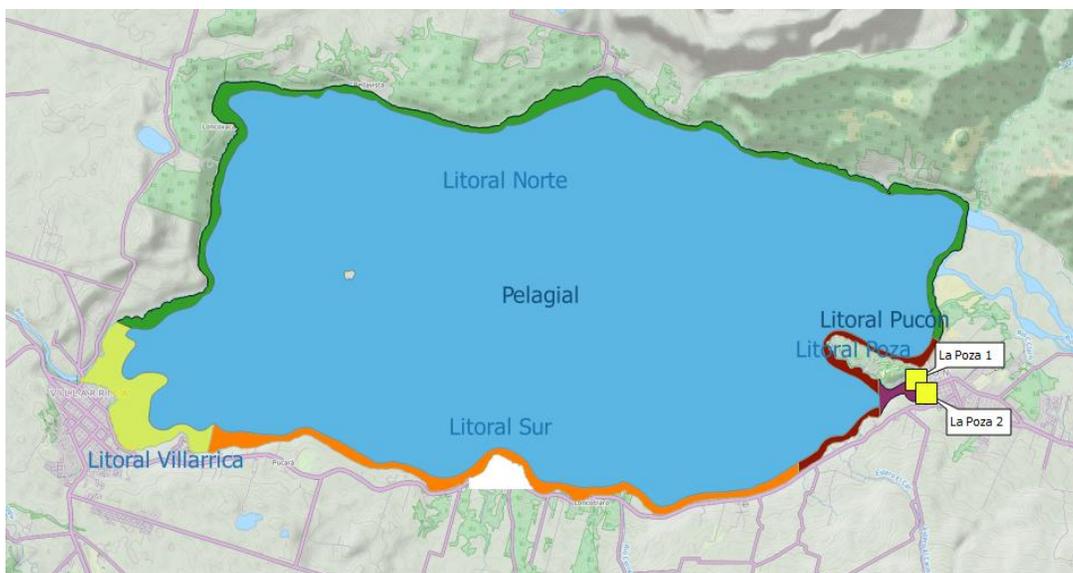


Figura 62. Muestreo de macrófitos bioindicadores en dos puntos del sector Litoral Poza.

Tabla 57. Niveles de trofia de las estaciones de muestreo del lago Villarrica, según la metodología de San Martín et al. (2003) y metodología de ITFM (2015), propuesta por UCT.

Estación	Nivel de trofia de acuerdo a San Martín (2003)			Nivel de trofia de acuerdo a ITFM (UCT, 2014)	
	Riqueza	Abundancia		-	
La Poza 1	Medio	Medio		Medio	
La Poza 2	Medio	Medio		Medio	

9. RESULTADOS ÁREAS DE VIGILANCIA CORRESPONDIENTES A LA RED DE OBSERVACIÓN.

Las áreas de vigilancia de la red de observación (red no oficial), han sido incorporadas, debido a que se consideran relevantes por reflejar el comportamiento de la cuenca en términos de conexión con los cuerpos de agua en relación con su valor desde el punto de vista biológico y debido a las actividades humanas que ejercen presión sobre ellas. Las áreas corresponden a: **Área de vigilancia Pelagial Villarrica, Rio Pucón en Pasarela Quelhue y Rio Toltén** en desembocadura del lago Villarrica. El análisis en ríos, tiene como objetivo principal percibir la carga que ingresa y que sale de los principales afluentes y efluente del lago.

9.1 ÁREA DE VIGILANCIA PELAGIAL (Villarrica)

Esta área de vigilancia al igual que la estación Pelagial centro, corresponde a todo el cuerpo de agua pelágico, cuyo límite horizontal está definido por la línea del veril 25 metros y cuyo límite vertical comprende desde la superficie hasta la profundidad máxima del lago. Según lo señalado en la Tabla 58, se contó con buenas condiciones de navegación que permitieron la toma de muestras. Las muestras de agua en esta área fueron realizadas a 0, 10, 30, 70 metros de profundidad, en coherencia con lo establecido en la tabla N°9 del Artículo duodécimo del PMCCA.

Tabla 58. Parámetros meteorológicos estación PELAGIAL (Villarrica).

Estación PELAGIAL	FECHA DE MUESTREO			
	13/11/2013	04-02-2014	06-10-2014	27-01-2015
Temperatura ambiental (°C)	15,1	20,0	24,0	20,3
Humedad relativa (%)	52,5	53,1	50,0	67,3
Velocidad del viento (m/s)	2,0	0,7	0,0	**
Estado del tiempo (octas)	Nublado (3/8)	Nublado (8/8)	Despejado	Nublado (7/8)
Presión Atmosférica (mbar)	1000	990	989	990

** Dato no registrado

9.1.1 Parámetros fundamentales

La Tabla 59 muestra los resultados de los parámetros fundamentales medidos en esta área de vigilancia. Los valores reportados corresponden a transparencia, % Sat. Oxígeno y Clorofila "a". Los parámetros Fósforo Total y disuelto, no fueron reportados en este informe, dado que la Dirección General de Aguas invalidó los resultados por incongruencias identificadas. Por su parte, los valores cuantificados para las especies nitrogenadas, como N-NO₃, N-NO₂ y N-NH₄, si bien no fueron invalidadas por el laboratorio, no se reportan en este informe, ya que presentaron incoherencias en los valores.

Tabla 59. Resultados de monitoreo en área de vigilancia PEL-Villarrica.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
Transparencia (Secchi)	m	-	8,0	6,0	10,0	8,0
Saturación de Oxígeno	%	0	104,9	109,0	102,3	109,0
		10	103,9	-	98,4	110,5
		30	100,0	83,1	92,0	93,7
		70	91,2	79,4	85,9	81,8
Clorofila "a" (s/L.D.)	µg/l	0	1,3	1,5	1,1	10,8
		10	1,9	-	1,2	14,4
		30	3,2	2,4	0,7	4,1
		70	3,6	0,5	0,5	3,7

El % Sat. Oxígeno, mostró valores por sobre la saturación (100%) a nivel superficial en todas las campañas realizadas, no obstante la campaña realizada en octubre de 2014, los resultados fueron decrecientes al descender en la columna de agua, llegando a un 86% a los 70 m. En el caso de la Clorofila "a", y al igual que la totalidad de las áreas de vigilancia es posible observar que el período de Enero de 2015 registró valores elevados en este caso se concentran hasta los 10 m de profundidad, superando los cuales superan incluso los 14,0 µg/l.

9.1.2 Parámetros de condición natural.

Los parámetros de condición natural en PEL-VILLARRICA, incorporaron mediciones de pH, turbidez (NTU), Oxígeno Disuelto (mg/l), cuyos resultados de las campañas Noviembre de 2013, Febrero de 2014 y Enero de 2015, se muestran en la Tabla 60. De esta tabla, es posible ver que los valores de pH se mantuvieron en rango de 9 a 7 unidades para las cuatro campañas realizadas. La Turbiedad se mantuvo en valores bajos en todas las campañas con tendencia a

aumentar en la campaña de Enero de 2015. Finalmente, las concentraciones de oxígeno disuelto en toda la columna de agua no registraron diferencias significativas, manteniéndose en valores cercanos a 10 en superficie.

Tabla 60. Resultados parámetros pH, Turbiedad y Oxígeno disuelto PEL-Villarrica.

Parámetros	Unidad	Prof.	13/11/2013	04/02/2014	06/10/2014	27/01/2015
pH	Unid. pH	0	8,25	9,20	7,75	8,70
		10	8,16	-	7,91	8,67
		30	7,61	8,68	7,81	8,08
		70	7,34	8,06	7,80	7,68
Turbiedad	NTU	0	0,0	0,0	0,9	1,5
		10	0,0	-	1,0	1,9
		30	0,0	0,9	0,8	0,7
		70	0,0	-	0,8	0,1
Oxígeno Disuelto	(mg/l)	0	10,78	9,83	10,61	9,87
		10	10,84	-	10,74	10,13
		30	10,64	8,65	10,15	9,81
		70	10,16	8,80	9,56	9,20

Los perfiles de temperatura, Oxígeno Disuelto se muestran en las Figura 63 A y B. A partir de estas figuras, se puede observar que la temperatura no presenta cambios importantes en superficie como en profundidad. La saturación de oxígeno disminuyó desde un 95% en superficie, siendo inferior a los 85% a los 80 m de profundidad.

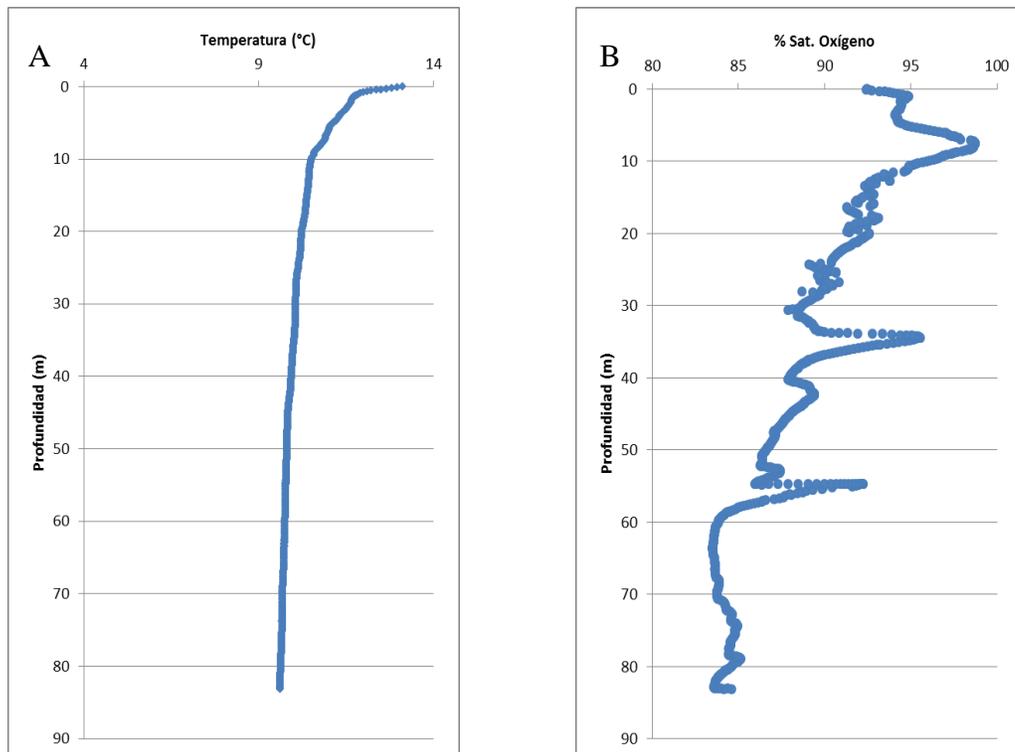


Figura 63. Perfiles obtenidos a través de CTD estación pelagial Centro en época estival (octubre de 2014) A) Perfil de temperatura y B) Perfil de % sat. Oxígeno.

El perfil de concentraciones de clorofila "a" (Figura 64), se encuentran en su valor máximo cercano a los 10 metros de profundidad aproximadamente en los 1 $\mu\text{g/l}$, que es la zona a la cual penetra la radiación solar, mientras que esta concentración es decreciente a medida que se aumenta en profundidad, alcanzando valores menores a los 0,2 $\mu\text{g/l}$ a los 80 m.

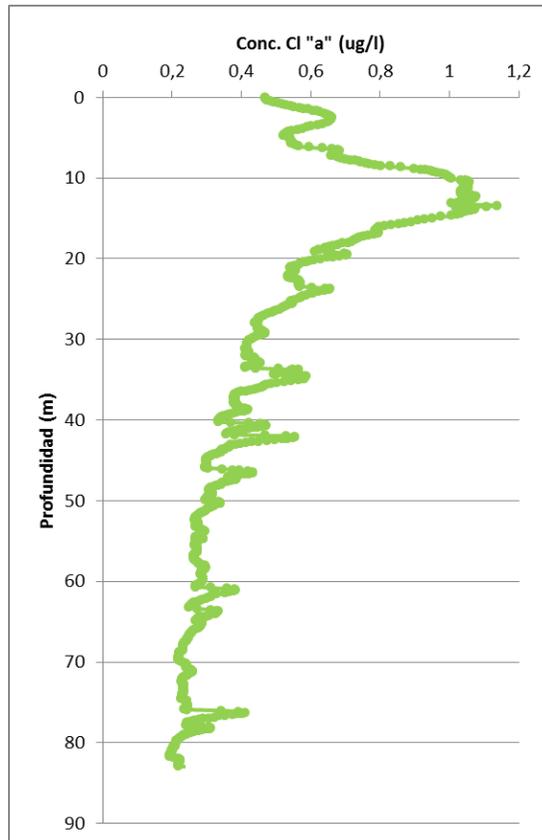


Figura 64. Perfil de clorofila "a", obtenido a través de CTD estación pelagial Villarrica en época estival (octubre de 2014).

9.1.3 Resultados de bioindicadores área PEL-VILLARRICA.

- FITOPLANCTON (AB. Y COMP., CEL/ML)

A continuación, se presenta los resultados de las campañas de monitoreo de la comunidad fitoplactónica para los períodos de Febrero de 2014, Octubre de 2014 y Enero de 2015. Las mediciones realizadas, consideraron un total de 3 profundidades en el área pelagial Villarrica, de acuerdo a lo establecido en el PMCCA.

En la Tabla 61 y Figura 65, se observa que la clase más abundante en esta estación, en la campaña de noviembre de 2013, corresponde a Bacillariophyceae. La especie *Fragilaria crotonensis* Kitton resultó ser la con mayor abundancia en toda la columna de agua, superando el 90% de dominancia frente a las demás especies en superficie.

Tabla 61. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en Febrero de 2014 para PELAGIAL – Villarrica.

Lago Villarica, PEL-Villarrica	Superficie		30 m		70 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	333	0,4	1.660	6,5	4.536	43,5
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.F.Müller) Simonsen	111	0,1				
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	666	0,8	664	2,6	224	2,2
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	78.699	94,9	8.549	33,2	3.808	36,6
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	111	0,1				
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H.L.Smith	111	0,1				
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing			166	0,6	56	0,5
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson			249	1,0		
<i>Cymbella minuta</i> Hilse			83	0,3		
Otras diatomeas céntricas			83	0,3		
<i>Fragilaria</i> sp.					560	5,4
<i>Melosira varians</i> C.Agardh					504	4,8
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Kützing					56	0,5
CYANOPHYCEAE		0,0				
<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn (Fil/L)	444	0,5				
DINOPHYCEAE		0,0		0,0		0,0
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	1.443	1,7	8.549	33,2	392	3,8
<i>Peridinium aff cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg			166	0,6		
CRYPTOPHYCEAE	-	0,0		0,0		0,0
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	222	0,3	5.063	19,7	56	0,5
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg			83	0,3		
XANTHOPHYCEAE	-	0,0		0,0		
<i>Tribonema elongatum</i> Thomasson (Fil/L)	444	0,5	166	0,6		
CHLOROPHYCEAE	-	0,0		0,0		0,0
<i>Closterium acutum</i> Brébisson	111	0,1	166	0,6		
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	222	0,3				
<i>Closterium acutum</i> v <i>variable</i> (Lemmermann) Krieger			83	0,3		
<i>Monoraphidium aff irregulare</i> (Smith) Komárková-Legnerová					168	1,6
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W. West (Fil/L)					56	0,5
TOTAL	82.917	100	25.730	100	10.416	100

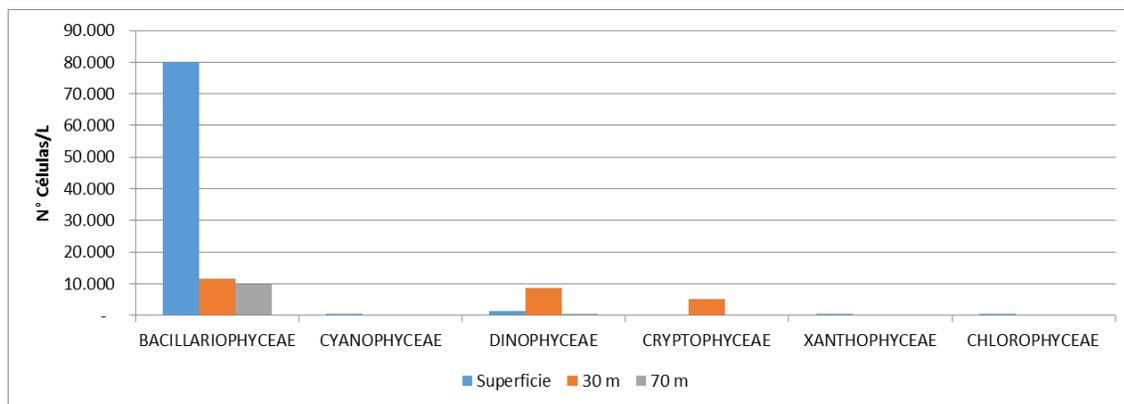


Figura 65. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en febrero de 2014. PEL-Villarrica.

De la Tabla 62 y Figura 66, se observa que la clase más abundante en esta estación definida en la campaña de octubre de 2014, corresponde a Chlorophyceae y Cryptophyceae. En el caso de Chlorophyceae las especies mejor representadas fueron *Dictyosphaerium pulchellum*, *Elakatothrix gelatinosa* Willielas cuales representaron un 42% de la abundancia total. En el caso de la clase Cryptophyceae, esta estuvo representada por el género *Rhodomonas* la cual representó un 55% de la abundancia total.

Tabla 62. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en octubre del 2014 para PELAGIAL – Villarrica.

PELAGIAL CENTRO	Superficie		10 m		30 m		70 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE								
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	20	0,0	180	0,2	160	0,1	0	0,0
<i>Closterium acuminatum</i> Kützing ex Ralfs	0	0,0	2884	2,8	4325	3,0	0	0,0
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	500	0,7	0	0,0	0	0,0	600	0,3
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	10.190	14,0	23.068	22,4	25.952	18,0	5767	2,5
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	11.534	15,9	2.884	2,8	4.325	3,0	17301	7,6
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	960	1,3	2.880	2,8	640	0,4	320	0,1
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	8.651	11,9	8.651	8,4	30.277	21,0	0	0,0
<i>Nephrocystium</i> sp.	0	0,0	160	0,2	0	0,0	0	0,0
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	0	0,0	3.280	3,2	4.325	3,0	1.280	0,6
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W.West	0	0,0	1.940	1,9	0	0,0	720	0,3
<i>Tetraedron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg	0	0,0	0	0,0	0	0,0	74.971	33,0
<i>Ulothrix</i> sp.	100	0,1	0	0,0	0	0,0	1660	0,7
DINOPHYCEAE								
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	0	0,0	220	0,2	120	0,1	0	0,0
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	0	0,0	0	0,0	520	0,4	0	0,0
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	40	0,1	40	0,0	0	0,0	0	0,0
BACILLARIOPHYCEAE								
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	40	0,1	3.710	3,6	1.720	1,2	11.520	5,1
<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0,0	260	0,3	520	0,4	600	0,3
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	20	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) M.Schmidt	0	0,0	20	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	60	0,1	40	0,0	1.080	0,7	7400	3,3
<i>Fragilaria</i> sp1.	0	0,0	0	0,0	80	0,1	0	0,0
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	0	0,0	40	0,0	80	0,1	80	0,0
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	8.651	8,4	8.651	6,0	0	0,0
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0	700	0,3
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	0	0,0	170	0,2	640	0,4	160	0,1
<i>Navicula dicephala</i> Ehrenberg	20	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	0	0,0	20	0,0	0	0,0	0	0,0
CRYSOPHYCEAE								
<i>Mallomonas</i> sp.	20	0,0	660	0,6	480	0,3	80	0,0
CRYPTOPHYCEAE								
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg	40	0,1	2.884	2,8	4.325	3,0	0	0,0
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	40.369	55,6	40.369	39,2	56.228	38,9	103.806	45,7
Abundancia total (cel L⁻¹)	72.564		103.049		144.448		226.965	

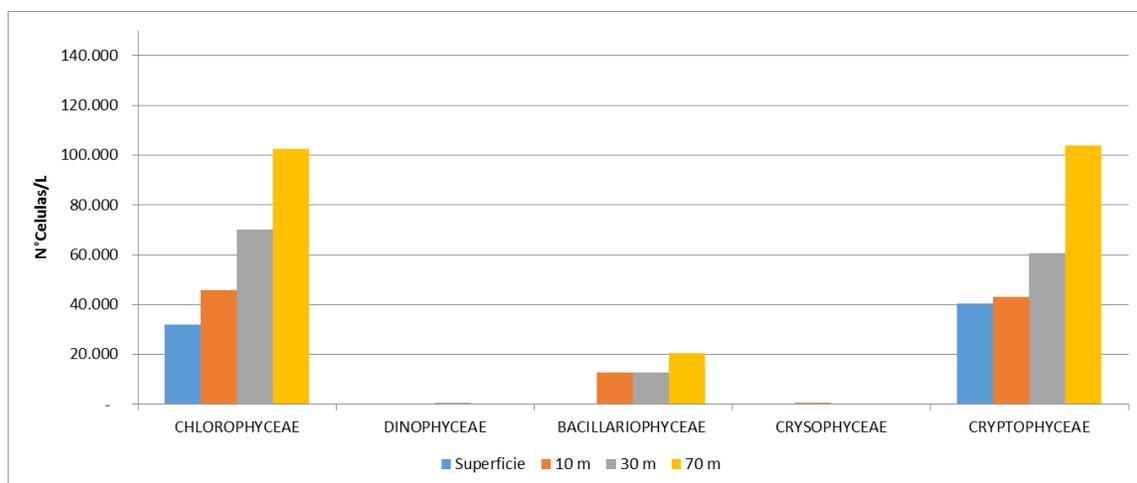


Figura 66. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en febrero de 2014. PEL-Villarrica.

De la Tabla 63 y Figura 61, se observa que la clase más abundante en la campaña estival de enero de 2015, corresponde a Chlorophyceae, la cuál se vé mejor representada en superficie por *Kirchneriella lunaris*, especie característica de lagos eutrofos. Por su parte, Bacillariophyceae alcanza el segundo lugar de abundancia, representada en mayor medida por la especie *Discostella stelligera*, la cual se distribuyó de manera uniforme en la columna de agua. Asimismo, aparece la clase Cryptophyceae, representada por el género *Rhodomonas* y en menor proporción Cyanophyceae, con *Pseudoanabaena sp.*, la cual puede indicar una tendencia del lago a la eutrofización. Estos resultados son concordantes con las mediciones realizadas en el área Pelagial Centro en donde se encontró la mayor densidad celular para taxa de cianófitas, en comparación con las campañas anteriormente realizadas.

Tabla 63. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015 para PELAGIAL – Villarrica.

PEL Villarrica	Superficie		10 m		30 m		70 m	
	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%	Cél/L	%
CHLOROPHYCEAE								
<i>Botryococcus braunii</i> Kuetzing	400	0,0	200	0,0	200	0,0	350	0,1
<i>Closterium acutum</i> (Brébisson) Ralfs	100	0,0	0	0,0	0	0,0	50	0,0
<i>Cosmarium sp.</i>	100	0,0	800	0,0	0	0,0	0	0,0
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Willie	23068	2,0	34.602	1,5	11.534	2,0	6.920	1,6
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	184.544	15,8	34.602	1,5	0	0,0	0	0,0
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Schmidle	461.361	39,5	346.021	15,2	57.670	10,1	0	0,0
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	92.272	7,9	121.107	5,3	0	0,0	200	0,0
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> Chodat	0	0,0	1600	0,1	92272	16,1	0	0,0
<i>Sphaeroszoma aubertianum</i> W.West	0	0,0	6000	0,3	0	0,0	8.100	1,9
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	100	0,0	100	0,0	100	0,0	0	0,0
DINOPHYCEAE								
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Schrank	7.800	0,7	8.200	0,4	600	0,1	1.500	0,4
<i>Gymnodinium paradoxum</i> A.J. Schilling	2.300	0,2	3.000	0,1	300	0,1	100	0,0
<i>Peridinium willei</i> Huit-Kass	2.600	0,2	4.600	0,2	300	0,1	550	0,1
BACILLARIOPHYCEAE								
<i>Aulacoseira granulata</i> var <i>angustisima</i> (O.F.Müller) Simonsen	8.200	0,7	16.100	0,7	6.900	1,2	12.650	3,0
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsem	11.000	0,9	47.040	2,1	36.960	6,5	31.920	7,5
<i>Cyclotella operculata</i> (C.Agardh) Brébisson	0	0,0	17301	0,8	57.670	10,1	20.761	4,9
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	219.146	18,7	259.516	11,4	80.738	14,1	110.727	25,9

<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	0	0,0	100	0,0	0	0,0	50	0,0
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	29.000	2,5	44.000	1,9	7.000	1,2	12.000	2,8
<i>Fragilaria</i> sp.	1.600	0,1	0	0,0	0	0,0	600	0,1
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	600	0,1	400	0,0	100	0,0	150	0,0
<i>Melosira distans</i> (Ehrenberg) Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0	20.761	4,9
<i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0	200	0,0
<i>Melosira hustedtii</i> Krasske	0	0,0	0	0,0	0	0,0	300	0,1
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	0	0,0	0	0,0	0	0,0	400	0,1
<i>Navicula</i> sp.	0	0,0	17.301	0,8	0	0,0	6.920	1,6
<i>Nitzschia kuetsingiana</i> Hilse	0	0,0	0	0,0	0	0,0	13.841	3,2
<i>Nitzschia sigmaidea</i> (Nitzsch) W.Smith	0	0,0	0	0,0	0	0,0	150	0,0
<i>Urosolenia eriensis</i> (H.L.Smith) Round & R.M.Crawford	0	0,0	415.225	18,3	11.534	2,0	27.682	6,5
CRYSOPHYCEAE								
<i>Mallomonas</i> sp.	0	0,0	17.301	0,8	0	0,0	0	0,0
CRYPTOPHYCEAE								
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	0	0,0	51.903	2,3	23.068	4,0	6920	1,6
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher & Ruttner	0	0,0	726.644	32,0	173.010	30,2	124.567	29,1
CYANOPHYCEAE								
<i>Anabaena aff circinalis</i> Rabenhorst	124.800	10,7	96.000	4,2	12.800	2,2	19.200	4,5
Abundancia total (cel L⁻¹)	1.168.992	100	2.269.662	100	572.757	100	427.570	100

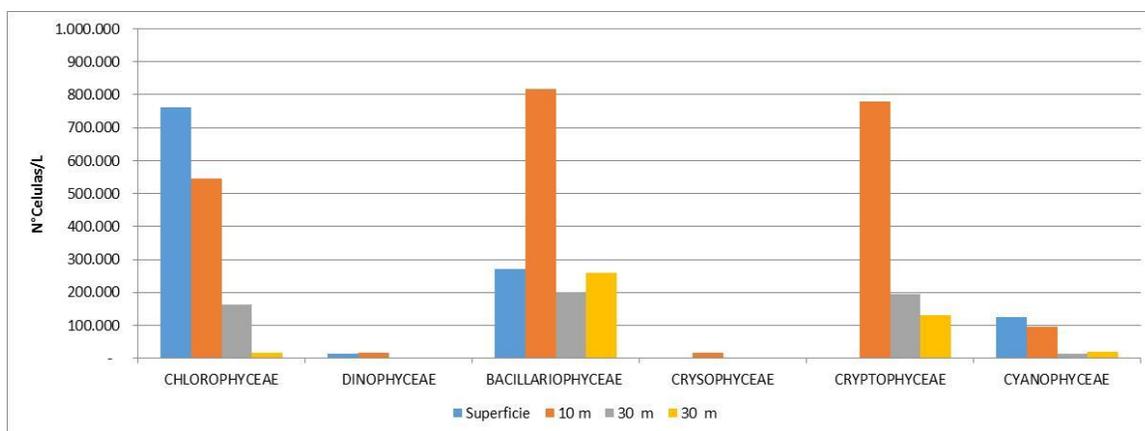


Figura 67. Abundancias por clases para cada una de las profundidades monitoreada en enero de 2015. PEL Villarrica.

9.2 ÁREA DE VIGILANCIA Río Pucón en Pasarela Quelhue.

Esta estación puntual de Río Pucón en Pasarela Quelhue es una estación de calidad DGA, actualmente en operación, que permite obtener información de la carga de nutrientes provenientes aguas arriba de la cuenca del lago Villarrica. En particular, registra información de aportes de fuentes difusas asociadas al uso de suelo y además descarga de efluentes de fuentes puntuales. Esta estación, se define en la Tabla N°7 del Artículo décimo del PMCCA.

El río Pucón o Minetúe, es el principal afluente superficial del lago Villarrica y aporta con un 90 % de las aguas de escorrentía que el lago recibe. La estación no cuenta con registro fluviométrico, por tanto, se realizó una estimación de los caudales que ingresa al lago Villarrica, en base a la suma de los registros fluviométricos de las estaciones de Río Liucura y la estación de Río Trancura (Antes de Río Llafenco), cuya ubicación espacial se muestra en la Figura 69. La Figura 68, muestra los caudales medios mensuales obtenidos entre los años 2007 y 2014 para

la estación de Río Trancura (Antes de Río Llafenco), la Estación río Liucura y la suma de ambos, que correspondería al caudal principal afluente al lago Villarrica.

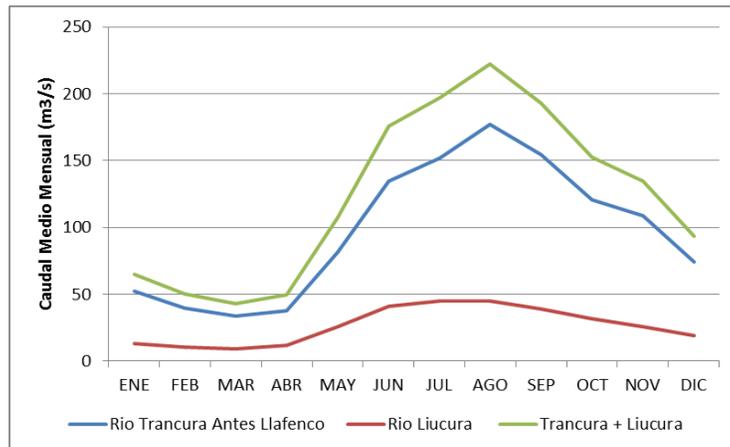


Figura 68. Caudales medios mensuales en el período de enero de 2007 a diciembre de 2014 estaciones de Río Trancura (Antes de río Llafenco) y estación río Liucura.

De la figura Figura 68 es posible analizar que la suma de ambos caudales medios mensuales (entre los años 2007 a 2014), tienen sus valores mínimos en los meses de enero a abril, con un mínimo en el mes de marzo de $43 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el máximo promedio registrado en esta serie de tiempo correspondió al mes de agosto con $222 \text{ m}^3/\text{s}$.

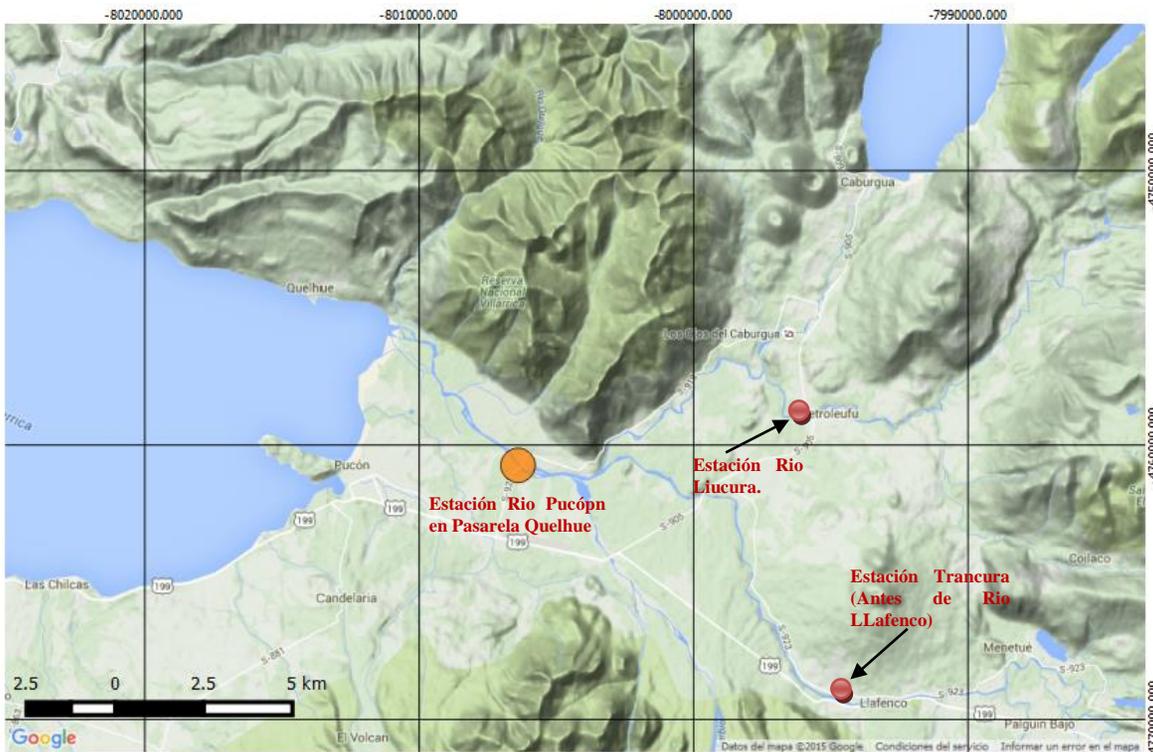


Figura 69. Ubicación de estación Río Pucón en Pasarela Quelhue.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los diferentes parámetros monitoreados en esta área de vigilancia fluvial.

9.2.1 Parámetros de condición natural.

Los parámetros de condición natural en esta área de vigilancia, incorporan mediciones de temperatura, pH, Turbidez (NTU), Oxígeno Disuelto (mg/l) y Saturación de Oxígeno (%), cuyos resultados de las campañas Noviembre de 2013, Febrero de 2014 y Enero de 2015, se muestran en la Tabla 64.

De la tabla, es posible ver que los valores de pH se mantuvieron en rango de 9 a 6,96 unidades para las cuatro campañas realizadas, lo cual se encuentra en rangos normales. Las concentraciones de Oxígeno Disuelto fueron medidas en los años 2013 y 2015 registrando valores superiores a 10 mg/l. El % de Sat. Oxígeno solo fué registrado en las campañas de 2013 y 2015 con valores que bordean el 100% de saturación.

Tabla 64. Resultados de monitoreo de la condición natural en área de vigilancia Río Pucón en Pasarela Quelhue. La totalidad de estos parámetros fue medida e informada por la DGA.

Red de condición natural					
Parámetros	Unidad	14/11/2013	04/02/2014	07/10/2014	26/01/2015
Conductividad eléctrica	μS/cm a 25°C	56,8	32,0	56,1	80,3
Temperatura	°C	10,17	11,70	9,99	15,14
pH	Unid. De pH	8,0	6,96	7,96	9,06
Turbidez	NTU	0,0	9,5	**	37,1
Saturación de Oxígeno	%	99,0	**	**	102,1
Oxígeno disuelto	mg/l	10,82	**	**	10,39

9.3 ÁREA DE VIGILANCIA Río Toltén en Villarrica.

Al igual que la estación anteriormente descrita, esta estación se encuentra ubicada en la desembocadura del lago Villarrica y permite obtener información de la descarga de nutrientes provenientes del lago (Ver Figura 71). La Figura 68, muestra los caudales medios mensuales obtenidos entre los años 2007 y 2014 para la estación Río Toltén (desembocadura del Lago Villarrica). Esta estación, se define en la Tabla N°8 del Artículo undécimo del PMCCA.

De la figura, es posible analizar que la suma de ambos caudales medios mensuales (entre los años 2007 a 2014), tienen sus valores mínimos en los meses de enero a abril, con un mínimo en el mes de marzo de 109 m³/s, mientras que el máximo promedio registrado en esta serie de tiempo correspondió al mes de agosto con 338 m³/s.

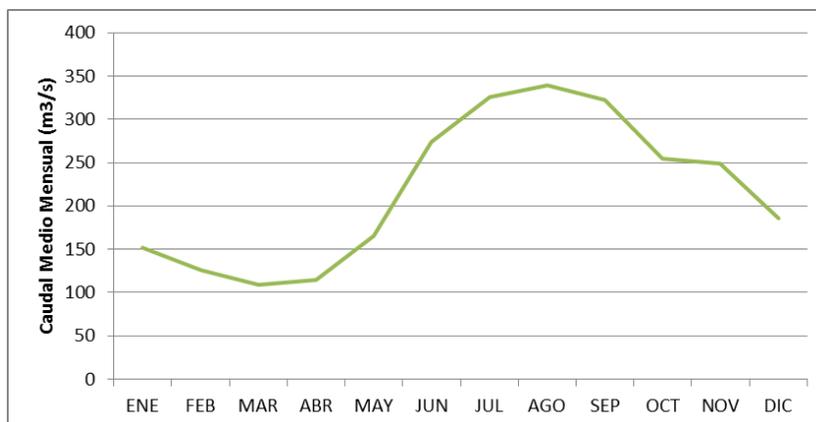


Figura 70. Caudales medios mensuales en el período de enero de 2007 a diciembre de 2014 estación río Toltén En Villarrica (Desague lago Villarrica).

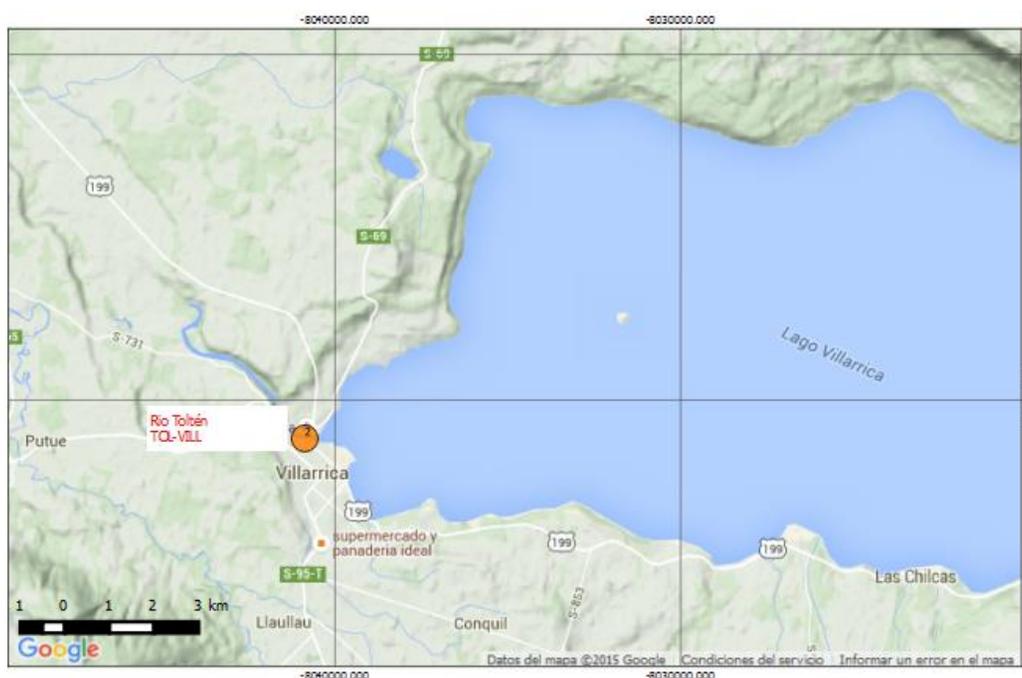


Figura 71. Ubicación de estación Río Pucón en Pasarela Quelhue.

9.3.1 Parámetros de condición natural.

Esta área de vigilancia contempla los mismos parámetros reportados para la pasarela Quelhue de Pucón. De la Tabla 65 es posible ver que los valores de pH se mantuvieron en rango de 8,13 a 8,92 para las cuatro campañas realizadas, lo cual se encuentra en rangos normales. Las concentraciones de oxígeno disuelto fueron medidas en los años 2013 y 2015 registrando valores en torno a 10 mg/l. El % de sat. Oxígeno fué solo registrado en campañas de 2013 y 2015 con valores que superan el 100% de saturación.

Tabla 65. Resultados de monitoreo de la condición natural en área de vigilancia Río Toltén en Villarrica. La totalidad de estos parámetros fueron medidos e informados por la DGA.

Red de condición natural					
Parámetros	Unidad	14/11/2013	04/02/2014	07/10/2014	26/01/2015
Conductividad eléctrica	μS/cm a 25°C	55,7	32,4	**	57,8
Temperatura	°C	13,82	18,51	**	20,11
pH	Unid. De pH	8,13	8,92	**	8,83
Turbidez	NTU	7,0	0,0	**	1,3
Saturación de Oxígeno	%	108,2	**	**	107,7
Oxígeno disuelto	mg/l	10,87	**	**	9,80

10. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

10.1 Niveles de trofía en áreas de vigilancia.

- Los resultados de las campañas de monitoreo entre 2013 hasta enero de 2015, mostraron la superación para los valores máximos para el parámetro clorofila “a” en la totalidad de las áreas de vigilancia. Asimismo, se evidenció la superación de la normativa de acuerdo al promedio bi anual para este parámetro para la totalidad de las áreas de vigilancia, a excepción del área Litoral Sur, la cual se mantuvo en un nivel de latencia. Junto a lo anterior, el parámetro transparencia, registró una superación de la normativa al superar el valor de promedio anual en el área de vigilancia Pelagial (centro del lago), encontrándose los valores en niveles de latencia para las demás áreas de vigilancia medidas en la norma.
- El índice de estado trófico de Carlson (TSI), dio cuenta de una condición de mesotrofía para el parámetro Transparencia en las campañas de octubre de 2013 y febrero de 2014 en el área Pelagial - centro. Asimismo, los valores de TSI obtenidos para Clorofila “a” en estos mismos períodos, dan cuenta de un estado de oligo-mesotrofía para esta área de vigilancia. La condición trófica presentada en estas dos primeras campañas, contrastó con la campaña de octubre de 2014, en la cual se observó un menor valor del TSI para Clorofila “a”, el cual se ubicó en una condición de oligotrofía. El valor obtenido en esta campaña, coincide con el valor más alto de Transparencia del agua, que da cuenta de una condición de oligomesotrofía en este período.
- La campaña realizada en enero de 2015 para el área Pelagial centro, a diferencia de las campañas anteriores, dio cuenta de una condición de eutrofia del lago Villarrica. En esta campaña, se obtuvo un valor de Clorofila “a” máximo de 8,3 μg/l, lo cual es característico de lagos eutróficos (Smith, *et al*, 1999; Carlson, 1974; Campos *et al*, 1984). Esta misma condición se observó en las estaciones litorales, cuyos valores máximos ponderados en la columna de agua, estuvieron entre 13,2 μg/l (Lit-Poza) y 17,6 μg/l (Lit-Villarrica).

- En el área Pelagial-centro, así como en las demás áreas de vigilancia litorales, el máximo valor del índice de estado trófico (TSI) registrado para Clorofila "a", en el período estival de 2015, coincidió con los registros más elevados de abundancia de la comunidad fitoplactónica, en donde la clase más abundante en la campaña estival de enero de 2015, corresponde a Chlorophyceae, la cuál se vió mejor representada en superficie por *Kirchneriella lunaris*, especie característica de lagos eutrofos. Cabe señalar que este período se presentó la mayor densidad celular para taxa de cianófitas, en comparación con las campañas anteriormente realizadas.
- En este mismo período, si bien no se registró el nivel mínimo de Transparencia respecto a las demás campañas, el TSI se mostró en un rango de mesotrofia. Los resultados de la campaña de enero 2015, son concordantes con los resultados de Campos, *et al*, 1983, en los cuales se observó que la máxima productividad primaria del lago Villarrica en verano (enero – Febrero), coincidió con los máximos valores de clorofila "a" y la máxima densidad fitoplactónica.
- En todas las áreas Litorales, los valores del índice de estado trófico (TSI) calculados para Clorofila "a", en el período estival de 2015, coinciden con los registros más elevados de abundancia de la comunidad fitoplactónica siendo la clase más abundante Bacillariophyceae, representadas en mayor proporción por las especies *Discostella stelligera* y *Fragilaria crotonensis* (estuvieron presentes en todas las áreas de vigilancia). En este mismo período de muestreo, pudo ser identificado el taxa *Anabaena (circinalis Rabenhorst)* del grupo de las cianofíceas, la cual estuvo mejor representada con mayor porcentaje en Litoral Pucón, Litoral Norte y Litoral Poza.
- Los valores de Transparencia del agua, reportados para la campaña estival (febrero de 2014), resultaron ser los más bajos de las cuatro campañas realizadas. Estos resultados, coinciden con los resultados de Campos *et al*, 2014, quien observó una disminución de la Transparencia en verano y un aumento de esta con la llegada de la primavera, lo cual explica los altos valores de Transparencia encontrados en octubre de 2014 y diciembre de 2015.
- En el caso de las áreas litorales, para la campaña de noviembre de 2014, resultó como dominante la clase Chlorophyceae, estando las mayores abundancias entre los 10 y 20 m de profundidad. Estos resultados difieren respecto a las 2 campañas anteriormente analizadas (octubre 2013 y febrero de 2014), en las cuales, la mayor dominancia en esta campaña, corresponden a las especies *Kirchneriella lunaris (superficie)* y *Dictyosphaerium pulchellum* (entre 10 y 20 metros), esta última se reportó en todas las áreas de vigilancia.
- Para la campaña de Enero de 2015, el fitoplancton del lago Villarrica tuvo una predominancia de las clases Chlorophyceae Bacillariophyceae y Cryptophyceae, presentándose diferencias en términos de la mayor abundancia celular respecto a las campañas anteriores

- El perfil de temperatura medido en el área Pelagial centro (campaña de noviembre de 2014), mostraron una diferencia de 3°C entre superficie y los 60 metros de profundidad. En base a estos resultados no se pudo observar la formación de la termoclina. Esto coincide con lo señalado por Campos, *et al* 1984, que señala que la termoclina se forma en el período de diciembre a marzo, con fluctuaciones de 1-3 °C por cada metro de profundidad, especialmente en febrero.

10.2 Análisis de bioindicadores

- Respecto del muestreo de *Diplodon chilensis*, se obtuvo que la mayor densidad se presentó en sustrato blando de tipo limo-arenoso o arenoso-limoso. Por otra parte a tendencia es que en lugares con mayor concentración de materia orgánica en el sustrato haya una mayor densidad de estos organismos (de igual forma que en las campañas 2014 y 2015). El mayor índice de crecimiento de *D. chilensis* está asociado al área Norte del Lago.
- El año 2013 (otoño) se observó una mayor densidad de *D. chilensis* en el litoral Pucón, comparado con el Litoral Norte, lo que es concordante con las mayores concentraciones de materia orgánica. En cambio en los años 2014 y 2015 (fines de verano) la densidad de choritos no presentó diferencias significativas entre ambas áreas ($P > 0,05$). Los resultados de las campañas de monitoreo de bioindicadores realizadas en el Lago Villarrica en el periodo 2013-2015, ponen de manifiesto una condición de mesotrofia.
- Al emplear la metodología de San Martín *et al.* (2003), 7 de las 10 estaciones analizadas presentaron un índice de trofia en nivel Medio, lo cual puede entenderse como una tendencia hacia la mesotrofia del lago Villarrica. Estos resultados coinciden parcialmente con la metodología del ITFM, para la cual 8 de las 10 estaciones de muestreo se asociaron con un nivel de trofia medio.
- Una de las desventajas de la propuesta de San Martín *et al.* (2003), dice relación con el limitado listado de especies para las cuales hay un valor indicador específico asignado respecto del factor nitrógeno. El número total de especies evaluadas en dicho trabajo asciende a 256, pero es necesario mencionar que gran parte de ellas corresponden a malezas introducidas terrestres, las cuales no necesariamente presentan hábitos estrictos de plantas helófitas e hidrófitas

10.3 Red de intervención antrópica y red de investigación.

- Respecto de los parámetros de intervención antrópica, cabe señalar que las concentraciones de Hidrocarburos Totales resultaron por debajo del límite de detección (<5 mg/l de HCT), tanto a nivel superficial como a los 20 metros de profundidad. Similar condición ocurre en las 5 estaciones litorales, en las cuales no se registró concentraciones elevadas de HCT.
- En relación a las concentraciones de sílice, los resultados fueron uniformes en la columna de agua (superficie, 10 y 20 metros), en la totalidad de las áreas litorales, registrándose un valor promedio de 18 mg/l. Este valor se encuentra en el rango límite superior determinado por Campos, 1984 para lagos Araucanos. De acuerdo a lo señalado por el este autor, el suelo del

área de drenaje principalmente compuesto por ceniza volcánica presentaría grandes cantidades de sílice la cual es ingresada al lago por los afluentes principales, en este caso, por el río Pucón.

11. REFERENCIAS

- **CAMPOS, H. 1984.** Limnological study of Araucanian lakes. En: Verh. Internat. Verein. Limnol. Chile, 22: p.1319-1327.
- **CAMPOS, H.; WOELFL, S.; ROMÁN, C.; ZÚÑIGA, L. & AGÜERO, G. 1983.** Limnological studies in lake Villarrica: morphometric, physical, chemical, planktonical factors and primary productivity. En: Arch. Hydrobiol. 65 (4): p.371-406.
- **DGA, 2011.** Informe final. Análisis de fitoplancton en muestras de aguas. Centro EULA, Universidad de Concepción.
- **Gonzalez V., 2014.** Utilización del chorito de agua dulce *diplodon chilensis* (gray, 1828) (bivalvia: *hyriidae*), como bioindicador de calidad del agua en el lago villarrica en el marco de la norma secundaria de calidad ambiental.
- **M&W Ambientales, 2014.** Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la DGA". Estudio desarrollado para la Dirección General de Aguas.
- **UACH, 2015.** Análisis de fitoplancton en muestras de agua. Estudio desarrollado para la Dirección General de Aguas. Licitación ID 1019-21-LE15.
- **UACH, 2009.** Diagnóstico de la calidad de las aguas del lago Villarrica". Informe desarrollado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, financiado por el Gobierno regional de La Araucanía.
- **UCT, 2015.** Desarrollo de un índice con macrófitas de estados tróficos de ríos en las regiones de la Araucanía, los ríos y los lagos. Licitación. Informe desarrollado para el Ministerio del Medio Ambiente.
- **STEFFEN, R.W., 1995.** Caracterización hidrodinámica preliminar del lago Villarrica. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas; Universidad Austral de Chile, Instituto de Zoología. Santiago.
- **URRUTIA J., et al, 2015.** Evaluación del estado trófico del lago Villarrica en base a macrófitos bioindicadores. Proyecto desarrollado para el Ministerio del Medio Ambiente, Id: 612227-7-LE15.

12. ANEXOS

ANEXO 1. PMCCA

ANEXO 2. Metodología para la determinación de TSI Carlson.

ANEXO 3. Metodología de muestro de macrófitos bioindicadores

ANEXO 4. Metodología de muestreo de Macroinvertebrados bentónicos (*Diplodon chilensis*)

**Unidad Asuntos Hídricos y Ecosistemas Acuáticos
Seremi del Medio Ambiente, región de La Araucanía
PEU/23 de enero de 2017**